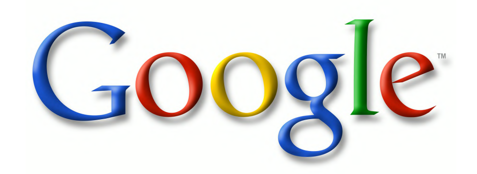
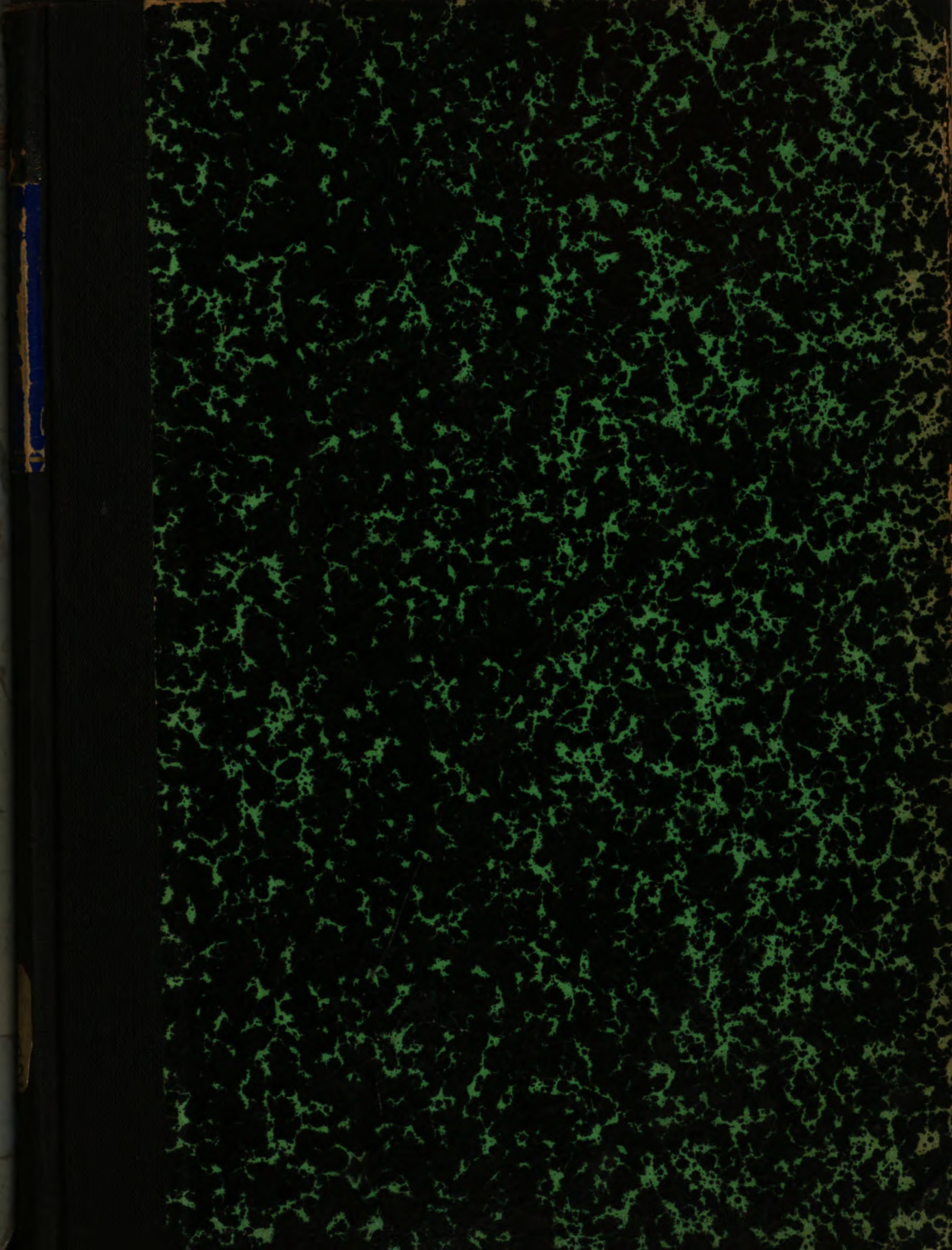
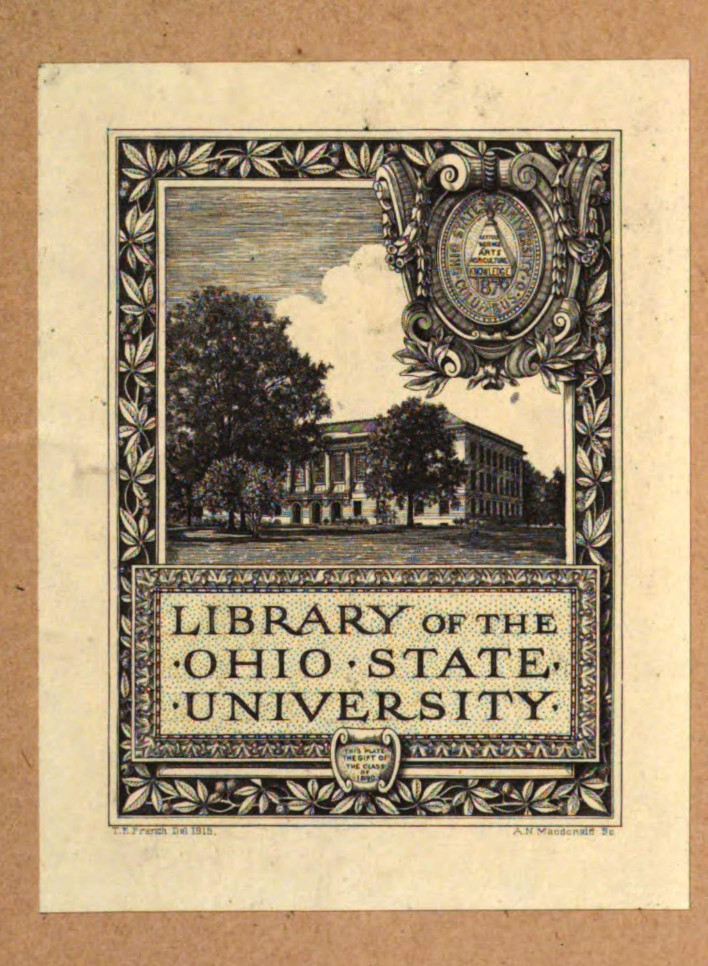
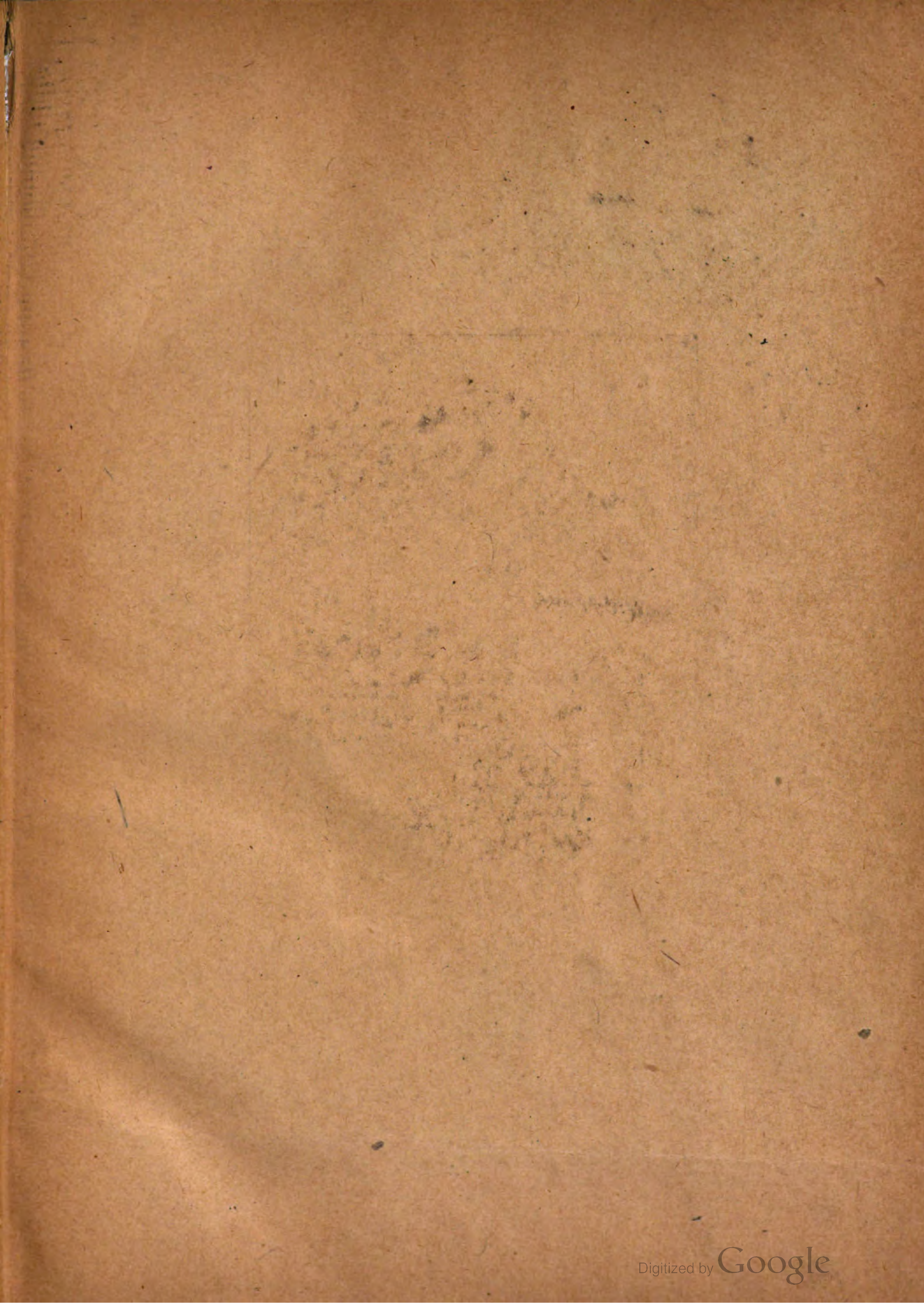








Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

Begründet unter Mitwirkung von **Ernst Mach** und **Bernhard Schwalbe.**

In Verbindung mit

A. Höfler in Wien, **O. Ohmann** und **H. Hahn** in Berlin.

herausgegeben

von

F. Poske.

Zweiunddreißigster Jahrgang.

1919.

Mit zahlreichen Textfiguren und 1 astronomischen Tafel für 1919.



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1919.

Inhalts-Übersicht.

* bedeutet „Kleine Mitteilung". Die mit kleiner Schrift und in fortlaufendem Text aufgeführten Titel beziehen sich auf Berichte, die davorgesetzten Ziffern auf die entsprechenden Unterabteilungen der Berichte.

Allgemeines
sowie Himmelskunde und astronomische Geographie.

Physik.

1. Mechanik der drei Formarten.

Seite

2. *Schall.*

3. *Wärme.*

4. *Licht.*

5. *Elektrizität und Magnetismus.*



Chemie.

Neu erschienene Bücher und Schriften.



Mitteilungen aus Werkstätten.

Vereine und Versammlungen.

Korrespondenz.

Himmelserscheinungen s. S. III.

An den Berichten haben mitgearbeitet die Herren: B. Bavink (Bielefeld), C. Fischer (Berlin), P. Gehne (Berlin-Steglitz), E. Gehrcke (Berlin), K. Gentil (Thorn), E. Günther (Dresden), F. Hocheim (Weißenfels a. S.), F. Hoffmann (Charlottenburg), M. Koppe (Berlin), E. Lamla (Berlin), O. Ohmann (Berlin), H. Rebenstorff (Dresden), A. Rohrberg (Berlin-Treptow), W. Roth (Braunschweig), E. Schenck (Charlottenburg), J. Schiff (Breslau), H. Schüepp (Zollikon, Schweiz), P. Spies (Berlin), W. Volkmann (Berlin-Steglitz).

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXII. Jahrgang. Erstes Heft. Januar 1919.

Über ein einfaches Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen sowie der Gasdichte.

Von **P. Bräuer** in Hannover.

Wenn man ein Probierrohr mit einem beliebigen Gase oder Dampfe füllt und den Ton der Röhre durch Anklopfen mit dem Finger prüft, so findet man, je nachdem das betreffende Gas eine größere oder geringere Dichte besitzt, einen tieferen oder höheren Ton als Grundton dieser gedeckten Pfeife. Diese wohl allgemein bekannte Tatsache läßt sich zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in gas- oder dampfförmigen Stoffen sowie mit Hilfe des Verhältnisses der spezifischen Wärmen c_p/c_v zur Ermittelung der Dampfdichte benutzen, wie im folgenden gezeigt werden soll.

Bezeichnet man mit c_0 die Schallgeschwindigkeit in einer mit Luft von 0^0 gefüllten Röhre, mit n_0 die Schwingungszahl ihres Grundtons, mit λ seine Wellenlänge, mit u_0, n, λ dieselben Größen für einen anderen gasförmigen Stoff von derselben Temperatur, so besteht die Beziehung $\frac{c_0}{u_0} = \frac{n_0}{n}$. Das Verhältnis $\frac{n_0}{n}$ läßt sich, wenn keine übergroße Genauigkeit verlangt wird, mit Hilfe einer Monochordsaite aus weichem Eisendraht bestimmen. Bezeichnet man mit r die Länge derjenigen Saite, die denselben Ton besitzt, wie die mit Luft gefüllte Röhre, mit l die einer mit Gas gefüllten Röhre von derselben Temperatur entsprechende Saitenlänge, so gilt: $\frac{n_0}{n} = \frac{l}{r}$, also auch $u_0 = c_0 \frac{r}{l}$. Für die Schallgeschwindigkeit in nicht zu weiten Röhren nimmt man $c_0 = 331$ m. Ferner ergibt die Newton-Laplacesche Gleichung $u_0 = \sqrt{\frac{k \cdot p}{s_0}}$, in der k das Verhältnis c_p/c_v, p den Druck, s_0 die Dichte des Gases bedeuten, wenn man p in absoluten Einheiten und s_0 durch die Dampfdichte D_0 in bezug auf Wasserstoff als Einheit ausdrückt: $D_0 = C \cdot \frac{k}{u_0^2}$, worin $C = 1\,130\,000$ bedeutet und u_0 in Metern eingesetzt wird. Die Größe k ist für eine Anzahl von Gasen und auch für einige Dämpfe experimentell ermittelt, für mehratomige Gase besteht eine gewisse Unsicherheit über diesen Wert, doch soll in folgendem für Gase mit n Atomen in der Molekel $k = \frac{5 + 2(n-1)}{3 + 2(n-1)}$ gesetzt werden, falls der Wert von k nicht bekannt ist oder ein solcher nach Analogie mit bekannten Gasen nicht angenommen werden kann. Wenn auch obige aus kinetischen Erwägungen folgende Gleichung nicht in allen Fällen mit der Erfahrung in Übereinstimmung ist, so kommen doch die etwaigen geringen Abweichungen für den beabsichtigten Zweck nicht in Betracht. Denn für den Chemiker handelt es sich bei der Berechnung des Molekulargewichts mit Hilfe der Dampfdichte stets nur um einen angenäherten Wert von D_0, da nur ganze Vielfache der durch die chemische Untersuchung bereits bekannten Atomenzahl bei der Aufstellung der Molekularformeln benutzt werden dürfen. Wie untenstehende Zusammenstellung zeigt, sind die Abweichungen der experimentell ermittelten und nach obiger Formel be-

rechneten Beträge von k in der Tat so gering, daß die mit ihnen berechneten Dampfdichten stets zu denselben Molekulargewichten führen.

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

	gef.	ber.		gef.	ber.		gef.	ber.
H_2	1,41	1,40	H_2S	1,28	1,29	$C_4H_{10}O$ . . .	1,06	1,07
N_2	1,40	1,40	CO_2	1,31	1,29	C_6H_6	1,19	1,06
O_2	1.40	1,40	CS_2	1,21	1,29	$C_2H_4O_2$ . . .	—	1,12
Cl_2	1,32	1,40	SO_2	1,26	1,29	C_3H_6O . . .	—	1,10
Br_2	1,29	1,40	NH_3	1,30	1,22	C_2H_4	1,25	1,15
HCl	1,40	1,40	$CHCl_3$ . . .	1,13	1,18	C_2H_5Cl . . .	1,14	1,12
NO	1,40	1,40	CH_4O . . .	—	1.15	C_2H_4O . . .	1,15	1,13
CO	1,41	1,40	C_2H_2	1,26	1,22	C_4H_8O . . . Essigäther	—	1,07
H_2O	1,33	1,29	C_2H_6O . . .	1,14	1,11			

Es handelt sich bei der Bestimmung der Dampfdichte bzw. des Molekulargewichts um einen ganz ähnlichen Fall wie bei der Bestimmung der Wertigkeit und des Atomgewichts mit Benutzung des Gesetzes von Dulong und Petit über die Atomwärme, da die hieraus berechnete Wertigkeit ebenfalls nur eine ganze Zahl sein kann.

Während nun die Werte von k für mehrere Gase bereits mit großer Genauigkeit nach der Methode von Kundt mit den Abänderungen von Behn und Geiger[1]) ermittelt werden konnten, ist dieses bei solchen Stoffen, die bei gewöhnlicher Temperatur flüssig oder fest sind, wenig oder gar nicht der Fall gewesen, da die experimentellen Schwierigkeiten die Anwendung des genannten Verfahrens auf Dämpfe sehr erschweren, wenn nicht unmöglich machen. Da man aber nach dem sehr einfachen, sogleich näher zu erläuternden Verfahren ziemlich zuverlässige Werte für die Schallgeschwindigkeit und völlig genaue für das Molekulargewicht erhält, so kann man hieraus auf Grund der Newton-Laplaceschen Gleichung auch einigermaßen sichere Werte von $k = \frac{c_p}{c_v}$ und auch c_p und c_v selbst finden. Denn das Verhältnis c_p/c_v der spezifischen Wärmen ist dem Verhältnis C_p/C_v der Molekularwärmen gleich, da $C_p = M \cdot c_p$ und $C_v = M c_v$ ist (M = Molekulargewicht). Ferner ist aber $C_p - C_v = R = 2$ gcal (R = Gaskonstante), daher $C_v = \frac{2}{k-1}$, $C_p = \frac{2k}{k-1}$, $c_v = \frac{2}{M(k-1)}$, $c_p = \frac{2k}{M(k-1)}$.

Die Ausführung der Versuche ist nun sehr einfach. Man braucht zu ihnen nur einige Probierröhren von 16 bis 32 cm oder noch größerer Länge, ein in $^1/_{10}$ Grade geteiltes Thermometer, ein Monochord von etwa 1 m Länge, dessen Saite aus 0,5 mm dickem, rostfreiem weichen Eisendraht besteht und das mit einem verschiebbaren Stege versehen ist. Die Saite muß so stark gespannt sein — durch Gewichte oder mit Hilfe eines Stimmhammers —, daß dem a_1 mit 435 Doppelschwingungen eine Saitenlänge von nicht weniger als 24 cm entspricht. Man benutze das Monochord nicht sogleich nach dem Aufspannen der Saite, weil es dann noch keinen konstanten Ton gibt, sondern warte so lange, bis die Saitenlänge, die etwa dem a_1 entspricht, auch nach dem Verschieben des Steges und nach Herstellung der ursprünglichen Länge wieder denselben Ton gibt. Jedenfalls überzeuge man sich vor und nach jedem Versuche, ob die Proportion $\frac{n_0}{n} = \frac{l}{r}$ erfüllt ist[2]). Die Probierröhren müssen dünn-

[1]) Eine genaue Beschreibung dieser sogenannten „Einrohrmethode“ findet man in der Dissertation von F. Keutel (Berlin, 1910) S. 8 ff. Dort sind auch die Molekularwärmen von Luft, CO_2, NH_3, Cl_2 nach den genauesten Bestimmungen kritisch zusammengestellt. (Siehe auch Nernst, Theoret. Chemie (1913) S. 199 ff. sowie J. Walker, Einführung in die physikalische Chemie, übersetzt von Steinwehr (1914) S. 40.)

[2]) Bekanntlich kann man n nicht aus der Pfeifenlänge — wenigstens nicht ohne eine Korrektion — finden.



wandig und 2 bis 3 cm weit sein und lassen sich nicht durch dickwandige Röhren ersetzen, da diese beim Anklopfen einen nur schwachen Luft- bzw. Gaston geben, der leicht durch den Eigenton der Glasmasse gestört wird, obgleich dieser viel höher ist als der Ton der Luftsäule. Je länger die Röhren sind, desto genauer sind, unter übrigens gleichbleibenden Umständen, die Bestimmungen von u, doch kann man über eine maximale Länge von etwa 60 cm nicht wohl hinausgehen, da sonst, besonders bei sehr schwachen Gasen und Dämpfen der Ton zu tief wird und bei leichten Gasen der Abstand des Ohres vom Mittelfinger der klopfenden Hand zu groß ist. Ein mechanisches Klopfwerk mit leichtem, geräuschlos betriebenem leichten Kork- oder Gummiklopfer gestattet zwar die Anwendung langer Röhren, macht aber den Apparat zu verwickelt und seine Benutzung schwierig. Man gehe deshalb über mäßige Röhrenlängen nicht ohne Not hinaus. Ich habe häufig innen versilberte Glasröhren benutzt, besonders wenn es sich um Dämpfe handelte, doch ist damit kein nennenswerter Vorteil verbunden gewesen, weil auch nicht versilberte Glasröhren nach längerem Verweilen im Heizbade nach dem Herausnehmen ihre erhöhte Temperatur so lange beibehalten, daß man in der kurzen aber hinreichenden Zeit von 2 bis 4 Sekunden über die Tonhöhe ein sicheres Urteil gewinnt. Die Röhren müssen möglichst tief in die Flüssigkeit des Heizbades getaucht werden, und zwar so lange, bis das bis zur Mitte des Luftraums reichende Thermometer den Siedepunkt der Flüssigkeit mindestens erreicht, ihn möglichst um 1 bis 2 Grade überschritten hat. Das Gesetz von Gay-Lussac gilt dann freilich noch nicht genau, doch ist dann der Fehler noch in mäßigen Grenzen gelegen. Um das Eintauchen zu erleichtern, umgibt man das Glasrohr unmittelbar unter der Mündung mit einem schmalen Streifen dünner Asbestpappe und wickelt um diese einen einige Millimeter dicken ausgeglühten Kupferdraht, dessen Enden man zusammendreht, um sie als Handgriff gebrauchen zu können. Bei sehr leichten Gasen ist es nützlich, die Mündung in eine weit abstehende Glasöffnung ausgehen zu lassen. Man umgibt zu diesem Zwecke das Glas unter seiner Mündung vor Anbringung des Handgriffes mit einem weit durchbohrten Spundkork von 1 cm Höhe, über dem man den abgesprengten Rand eines mindestens 8 cm weiten Becherglases von 3 cm Höhe mit einem in Wasser unlöslichen Kitt befestigt. (Bleiglätte mit Glyzerin und etwas Syndetikon.) Dadurch wird erreicht, daß die Mündung des Probierrohrs stets von Gas oder Dampf umgeben ist, die Diffusionsgeschwindigkeit daher die Luft nicht so schnell in das Rohr gelangen läßt, auch tönt dann die am oberen Ende des Rohres schwingende Gassäule, die ein wenig aus dem Glase herausragt, noch innerhalb des Gases und nicht in Luft. Wäre letzteres der Fall, so würde die Tonhöhe beeinflußt werden. Es kommt offenbar darauf an, daß bei der Bestimmung der Saitenlängen r und l gleiche Verhältnisse bestehen. Natürlich braucht man bei Dämpfen, die man durch Erhitzen von Flüssigkeiten erhält, ein zweites ganz gleich hergerichtetes Glas. Denn man darf das Erhitzen nie so weit treiben, daß alle Flüssigkeit in Dampf übergeht, sondern es muß stets ein Rest von 1 bis 2 ccm auf dem Boden bleiben, wenn Sicherheit bestehen soll, daß der ganze Raum der Röhre mit dem zu untersuchenden Dampfe gefüllt ist. Je nachdem die Röhre eng oder weit ist, läßt man 1 bzw. 2 ccm der Flüssigkeit unverdampft, was an einer eingeätzten Marke erkennbar ist; in dem zweiten, ganz gleichen Rohr befinden sich dann 1 bzw. 2 ccm trockenes Quecksilber, und mit diesem Rohr bestimmt man r (die Lufttemperatur ist zu bestimmen). Bei 18° C besitzt eine 16 cm lange Probierröhre von 2 cm Weite den Eigenton ut_4 mit 517,3 Schwingungen[1]), wie an der starken Resonanz bei der Prüfung mit der Gabel

[1]) In der temperierten Stimmung ist die Schwingungszahl von ut_4 gleich derjenigen von $la_3 \cdot \sqrt[12]{2^3} = 435 \cdot 1{,}1892 = 517{,}3$. Zufälligerweise gleicht sich bei einem solchen Probierglase die Verzögerung am Boden, die einer Verkürzung der Pfeife entspricht, mit der Verlängerung der schwingenden Luftsäulen der Öffnung aus. Bei einem weiteren Rohr von derselben Länge ist der Ton tiefer. (Siehe H. Helmholtz, Die Lehre von den Tonempfindungen, 4. Aufl. (1877), Beilage VII B, S. 623, ferner Dove, Repert. d. Physik, III. Band, S. 55—72.)

$u\,t_4$ erkannt wird. Als Heizbad für die Röhre, wenn sie zur Bestimmung von n in schweren Gasen, d. h. in Dämpfen von Flüssigkeiten — ausgenommen Wasserdämpfe, die erheblich leichter als Luft sind — dienen soll, benutzt man ein hinreichend hohes Becherglas, das mit Wasser oder, bei höher siedenden Flüssigkeiten, mit stark konzentrierter Lösung von Chlorcalcium gefüllt ist und auf einem Drahtnetz bis zu der gewünschten Temperatur, die etwa 20° höher liegt als der Siedepunkt der zu untersuchenden Flüssigkeit, erhitzt wird. Ist die gewünschte Temperatur erreicht, so stellt man die Flamme ganz klein oder dreht sie ganz aus, wenn die Dämpfe brennbar sind (Alkohol, Äther, Schwefelkohlenstoff, Azeton, Methylalkohol, Benzol usw., nicht aber bei Chloroform). Hat man es mit noch höher siedenden Flüssigkeiten zu tun, so muß man die Röhren entweder direkt erhitzen, z. B. bei Essigsäure, oder Anilin als Heizflüssigkeit verwenden, doch kommt man meist mit den beiden erstgenannten Flüssigkeiten aus. Bei der Bestimmung der Saitenlängen r und l lasse man sich durch den scheinbar tiefen Klang der mit Luft oder Gas gefüllten Glasröhren nicht täuschen; den Tönen fehlen die höheren Obertöne, daher klingen sie tiefer als die Töne der Saite[1]). Am sichersten ist es, den Ton der Röhre nach dem Anklopfen sogleich mitzusingen oder zu pfeifen, er prägt sich dann am besten ein und kann zuverlässig auf dem Monochord fixiert werden[2]).

Die verwendeten Gase müssen rein und trocken sein. Das Trocknen geschieht durch Hindurchleiten durch Trockenflaschen mit konzentrierter Schwefelsäure oder Phosphorpentoxyd, wo es die chemische Natur des Gases nicht verbietet; Ammoniak trocknet man in Natronkalkröhren. — Leichte Gase leitet man in die mit der Mündung nach unten gehaltenen Röhren durch ein senkrecht in ein Stativ eingeklemmtes Glasrohr ein, zieht, wenn die Röhren sicher mit Gas gefüllt sind, diese so weit in die Höhe, daß das Ende des Einleitungsrohres 1 cm weit außerhalb der Mündung steht und klopft in dieser Stellung auf den Boden des Probierrohrs. Da die Mündung dabei stets von einem lebhaften Gasstrom getroffen wird, so kann keine Luft von unten oder von der Seite her eindringen und man erhält einen Ton von unveränderter Höhe, den man durch die Saitenlänge l des Monochords fixiert. Ganz ähnlich verfährt man bei schweren Gasen, nur hält man dann das Probierrohr mit der Mündung nach oben und spannt das Zuleitungsrohr in umgekehrter Lage ein. Letzteres darf höchstens 5 mm dick sein, wenn der Durchmesser des Probierrohrs 2 bis 3 cm beträgt, da sonst die Tonhöhe beim Anklopfen tiefer wird als bei dünnem Zuleitungsrohr, oder wenn die Mündung völlig frei ist.

Das im vorstehenden beschriebene Verfahren habe ich in weit über 100 Versuchen und mit 20 verschiedenen Gasen und Dämpfen, unter Benutzung von Röhren der verschiedensten Abmessungen geprüft, es auch wiederholt zu Schülerübungen verwendet und dabei die Überzeugung gewonnen, daß es eine, besonders im Laboratorium des Chemikers und Physikers verwendbare Methode der Gas- und Dampfdichtebestimmung bildet, die der Viktor Meyerschen in der erreichbaren Genauigkeit völlig gleichwertig ist, sie aber in der Schnelligkeit der Ausführung erheblich übertrifft. Eine Anzahl der Ergebnisse, die aus den vorliegenden entnommen ist, habe ich nachstehend zusammengestellt (I), ferner auch einige Schülerversuche (II).

Ich mache besonders darauf aufmerksam, daß auch die Schallgeschwindigkeit von Gasen und Dämpfen, deren Dichte sich von der der Luft nicht sehr unterscheidet, wie Sauerstoff, Methylalkohol, Stickstoff, hinreichend genau bestimmbar ist. Dagegen habe ich bei der Schallgeschwindigkeit im Wasserstoff stets zu kleine Werte erhalten, nämlich 1140 m, während die freilich nur geringe Zahl der in der Literatur auffind-

[1]) Die höchsten in der Musik gebräuchlichen Töne sind die der Pikkelflöte. Sie werden in Notenschrift eine Oktave tiefer geschrieben, als sie wirklich sind.

[2]) Ein anderes, sehr zuverlässiges Verfahren ist folgendes. Man legt auf den Boden des Becherglases, welches als Heizbad dient, eine mit Blei beschwerte Korkscheibe und stößt auf diese den Boden der Röhre leicht auf. Eine Abkühlung wird dadurch ganz vermieden.



baren Werte um 1250 m liegt. Ein Grund liegt jedenfalls darin, daß es schwer ist, ein Gas, dessen Diffusionsvermögen, infolge seiner Molekulargeschwindigkeit von über 1800 m, enorm ist, in reinem Zustande in die Versuchsröhre zu leiten.

Ich habe versucht, das Gas in Röhren zu untersuchen, die am geschlossenen Ende mit einer Zuleitung versehen waren, so daß das Gas nur die Trockenflaschen zu durchlaufen hatte, konnte aber kein besseres Ergebnis erhalten, auch bei sehr reinem, elektrolytischen Wasserstoff nicht. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, daß selbst bei sehr langen Röhren — von nahezu 1 m — die Tonhöhe schwer bestimmbar ist, da die Schwingungszahl sehr groß und der Klang des Tones eigentümlich matt und farblos ist. Auch die Versuche, die Tonhöhe durch Resonanz zu bestimmen, mißlangen bis jetzt, weil keine Stimmgabel von so großer Schwingungszahl zu erhalten war, daß die Röhre angesprochen hätte. Doch bildet der Versuch mit Wasserstoff qualitativ selbst bei ganz kurzen Röhren und als Schülerversuch das auffallendste Beispiel der Änderung einer Tonhöhe in einer und derselben gedeckten Pfeife. —

I.

Name Formel	Länge und Durchmesser des Rohres	Lufttemperatur (absolut) T und Saitenlänge r	Gastemperatur T_1 (absol.) und Saitenlänge l	Schallgeschwindigkeit bei 0°: $u_0 = 331 \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_1}}$	$k = \frac{C_p}{C_v}$	Dampfdichte bei 0°: $D_0 = \frac{1130000 \cdot k}{u_0^2}$	Dampfdichte $D_0 = \frac{M}{2}$ (berechn.).
Sauerstoff O_2	51 cm 3 cm	$T = 290^\circ$ $r = 65,4$ cm	$T_1 = 290^\circ$ $l = 68,1$ cm	318 m	1,4	15,7	15,88
	45,6 cm 2 cm	$T = 290^\circ$ $r = 57,5$ cm	$T_1 = 290^\circ$ $l = 59,2$ cm	321 m	1,4	15,4	15,88
Chlor Cl_2	32 cm 3 cm	$T = 291^\circ$ $r = 37$ cm	$T_1 = 291^\circ$ $l = 59,6$ cm	205 m	1,37	37	35,46
	16 cm 2 cm	$T = 291^\circ$ $r = 19,8$ cm	$T_1 = 291^\circ$ $l = 30,3$ cm	216 m	1,37	32,8	35,46
Ammoniak NH_3	32 cm 3 cm	$T = 291^\circ$ $r = 37$ cm	$T_1 = 291^\circ$ $l = 29,7$ cm	412 m	1,31	8,7	8,5
	16 cm 2 cm (versilbert)	$T = 291^\circ$ $r = 20,7$ cm	$T_1 = 291^\circ$ $l = 16,8$ cm	408 m	1,31	8,9	8,5
Kohlendioxyd CO_2	16 cm 2 cm	$T = 294^\circ$ $r = 20,4$ cm	$T_1 = 294^\circ$ $l = 25,9$ cm	260 m	1,31	22	21,83
	51 cm 3 cm	$T = 293^\circ$ $r = 66,4$ cm	$T_1 = 293^\circ$ $l = 83,6$ cm	263 m	1,31	21,4	21,83
Brom Br_2	16 cm 3 cm	$T = 291^\circ$ $r = 21$ cm	$T_1 = 333^\circ$ $l = 43$ cm	162 m	1,37	59[1]	39,65
Äther $C_4H_{10}O$	16 cm 3 cm	$T = 291^\circ$ $r = 21$ cm	$T_1 = 325^\circ$ $l = 34,1$ cm	193 m	1,06	34	36,7
Azeton C_3H_6O	16 cm 3 cm	$T = 293^\circ$ $r = 20,6$ cm	$T_1 = 334^\circ$ $l = 30$ cm	213 m	1,10	27,4	28,77
Schwefelkohlenstoff CS_2	16 cm 3 cm	$T = 293^\circ$ $r = 20,6$ cm	$T_1 = 323^\circ$ $l = 34,4$ cm	189 m	1,26	38,8	37,70

[1]) Ein Versuchsfehler liegt nicht vor, die scheinbar zu große Zahl erklärt sich dadurch, daß Brom bei seiner Siedetemperatur zum weitaus größten Teile aus polymerisierten Molekeln besteht; das gleiche gilt von den Dämpfen der Essigsäure bei 118° (391° absol.).



II.

a) Gruppe von 4 Schülern b) Gruppe von 5 Schülern.

Die benutzten Röhren bestanden aus gewöhnlichen Probiergläsern.

Name Formel		Röhre: Länge und Durchmesser	Luft-temperatur T (absolut) r	Gas-temperatur T_1 l	Schall-geschwindigkeit $v_0 = 331 \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_1}}$	k	Dampfdichte $D_0 = \frac{1130000 \cdot k}{v_0^2}$	Dampfdichte $D_0 = \frac{M}{2}$ (berechn.)
Kohlendioxyd CO_2	a)	16 cm 1,5 cm	293° $r = 20$ cm	293° $l = 25{,}6$	259	1,31	22,1	21,83
Schwefelwasserstoff H_2S	b)	16 cm 2 cm	293° $r = 20{,}6$ cm	293° $l = 23{,}2$	294	1,31	17,1	17
Azeton C_3H_6O	a)	16 cm 1,5 cm	293° $r = 19{,}35$ cm	330° $l = 30$	201	1,13	30,8	28,9
	b)	16 cm 2 cm	293° $r = 19{,}6$ cm	330° $l = 30{,}3$	214	1,13	27,2	
Benzol C_6H_6	a)	16 cm 1,5 cm	293° $r = 19{,}35$ cm	353,5° $l = 33$	177	1,08	38	39
	b)	16 cm 2 cm	293° $r = 19{,}6$ cm	353,5° $l = 34{,}1$	173	1,08	40,7	

Eine schon ältere Methode, die Schallgeschwindigkeit in Gasen durch Resonanz zu bestimmen, findet sich in Kohlrauschs Lehrbuch der praktischen Physik (1914) S. 248, eine andere, damit fast ganz übereinstimmende von M. Schreiber in dieser Zeitschrift (1914), Heft I. Die in letzterer Arbeit in Fig. 2 abgebildete Versuchsanordnung ist in den gezeichneten Dimensionen mit Benutzung einer Stimmgabel kaum mit Erfolg zu benutzen, auch sind leider dort keine Zahlenangaben über die gefundenen Werte mit Wasserstoff gemacht. Diese Methoden sind aber nur für Gase, nicht für Dämpfe, anwendbar. Durch Benutzung eines Dampfmantels würde dem Übelstande abzuhelfen sein, etwa in der Weise, wie Lohmann (diese Zeitschrift 29, 24; 1916) angibt.

Wie man sieht, bietet sich hier ein einfacher Weg zur Berechnung des Verhältnisses $\frac{C_p}{C_v}$ der Molekularwärmen der Gase. Die theoretischen Grundlagen, um diese Bestimmung dem Verständnis des Primaners zu ermöglichen, bestehen zunächst in molekular-theoretischen Betrachtungen, wie sie auch von anderer Seite [1]) vorgeschlagen werden, ferner in der Newton-Laplaceschen Gleichung und der Poissonschen Gleichung für adiabatische Vorgänge. Zur Ableitung dieser Gleichungen genügen die Grundlagen der Differentialrechnung, die ja wohl überall in den preußischen höheren Lehranstalten Berücksichtigung finden.

[1]) Vgl. in *dieser Zeitschr. 29, 173 (1916), Heft IV,* den Aufsatz von Bavink über die Ionen- und Elektronentheorie im Unterricht.

Das Thermoelement als Demonstrationsthermometer.

Von Dr. **Erich Günther** in Dresden.

Thermoströme und Thermoelement pflegen im Unterricht eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle zu spielen; man beschränkt sich wohl auf die Vorführung einiger einfacher Demonstrationsversuche mit der klassischen Kombination Wismut-Antimon. Ganz unterschlagen läßt sich das Kapitel bei einem systematischen Aufbau schwer, da doch die Möglichkeit der Verwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie dargelegt werden muß. Der Grund für die Kürze der Behandlung liegt vor allem in der Schwierigkeit näherer theoretischer Erörterungen [1]). Aber Thermo- und Peltier-Effekt lassen doch, auch wenn man von der Elektronentheorie absieht, so lehrreiche Betrachtungen zum Prinzip von Le Chatelier-Braun [2]) zu, daß ich diese in Verbindung mit ähnlichen Erscheinungen (Polarisationsstrom, Induktion, Kompressionswärme usf.) ungern unterlasse. Erwähnung verdient auch gewiß die große Rolle, die das Thermoelement als Thermometer gegenwärtig in Wissenschaft und Technik spielt (Kombination Platin-Rhodium für hohe Temperaturen). Es kann also zunächst gezeigt werden, daß irgend zwei verlötete Drähte verschiedener Metalle ein Thermoelement abgeben; besonders geeignet ist wegen ihrer Empfindlichkeit die Kombination Eisen-Konstantan. Auch möchte die annähernd lineare Abhängigkeit der thermoelektrischen Kraft von der Temperatur vorgeführt werden; durch begabte und physikalisch besonders interessierte Schüler lasse ich im Praktikum diese Tatsache als schönes Beispiel einer linearen Funktion durch Eichung eines Thermoelements feststellen [3]). Allerdings braucht man dazu ein vorzügliches Galvanometer; ich benutze das wegen seiner Handlichkeit, vielseitigen Verwendbarkeit und wegen seines verhältnismäßig niedrigen Preises für Schulzwecke sehr zu empfehlende Drehspulen-Spiegelgalvanometer D Nr. 591 von Hartmann u. Braun in Verbindung mit dem von der Firma zum Instrument gelieferten Parallelwiderstand. Dieses Galvanometer hat bei der hohen Empfindlichkeit von $3 \cdot 10^{-9}$ Amp. äußerst geringe Trägheit, hervorragende Dämpfung und Konstanz des Nullpunktes. Der Besitz dieses ausgezeichneten Instrumentes brachte mich auf den Gedanken, das Thermoelement in der Wärmelehre als Demonstrationsthermometer zu verwenden. Den Mangel eines solchen wirklich allseitig brauchbaren Thermometers habe ich in der Wärmelehre immer sehr bedauert. Das Arbeiten mit dem gewöhnlichen Quecksilberthermometer bleibt, auch wenn man die Ablesung durch einen Schüler vornehmen läßt, für Lehrer und Schüler gleich unbefriedigend, da die Zuhörer die gemessenen Temperaturen auf Treu und Glauben annehmen müssen. Die bekannten Demonstrationsthermometer arbeiten im allgemeinen nicht quantitativ genau, haben große Wärmekapazität, wodurch sie für eine Reihe von Versuchen ausscheiden, sind recht unhandlich oder verlangen die Unbequemlichkeit des Projizierens. Demgegenüber besitzt das Thermoelement den Vorzug, daß es in Verbindung mit einer nach Celsiusgraden geeichten Skala genaue, quantitative Bestimmungen gestattet, daß es jedes Thermometer an Empfindlichkeit weit hinter sich läßt, daß es sehr geringe Wärmekapazität und damit sehr kleine thermische Trägheit hat, daß es sehr bequem zu handhaben ist und daß es von der forschenden Physik längst schon zur Temperaturbestimmung verwendet wird. Das Luftthermoskop

[1]) Vgl. F. Poske, Didaktik des physikalischen Unterrichts (Didakt. Handbücher für den realistischen Unterricht von Höfler u. Poske, Bd. IV), S. 373.

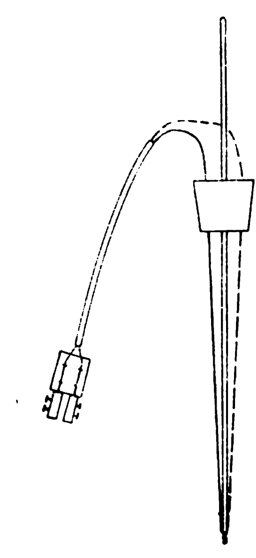
[2]) Vgl. O. D. Chwolson, Lehrbuch der Physik; Bd. III (1905) S. 474. Das Prinzip scheint leider im Unterricht noch recht wenig gewürdigt zu werden, obwohl sein Wert gerade für die Schule gar nicht hoch genug veranschlagt werden kann, da es dort bis zu einem gewissen Grade den zweiten Hauptsatz ersetzen könnte.

[3]) W. Masche, Messung thermoelektrischer Kräfte in den Schülerübungen; *diese Zeitschr. 25, 78, 1912.*



wird dadurch natürlich nicht überflüssig; doch findet es im Thermoelement eine wünschenswerte Ergänzung besonders nach der quantitativen Seite hin. Die Scheu vor der Verwendung des Thermoelements im angedeuteten Sinne liegt wohl vor allem darin, daß man mit dem Spiegelgalvanometer arbeiten muß. Das erwähnte Hartmann und Braunsche Instrument macht Bedenken in dieser Richtung hinfällig; es läßt sich in wenig Augenblicken aus dem Schrank nehmen und an beliebiger Stelle rasch und gut aufstellen; die jeweilige Aufstellung ziehe ich der festen Montierung vor, weil dadurch das Spiegelgalvanometer dem Schüler gegenüber alles Geheimnisvollen entkleidet wird. Zum Entwerfen des Lichtzeigers verwende ich die Nernstlampe; man kann dann bei hellem Tageslicht arbeiten und umgeht das lästige Verdunkeln des Zimmers. An der Nernstlampe habe ich den Vorwärmkörper vorsichtig entfernt, da er sich im Skalenbild störend mitprojiziert; die Vorwärmung erfolgt dann jedesmal mit der Bunsenflamme. Noch mehr zu empfehlen ist eine kleine Bogenlampe (Universalbogenlampe von Krüss in Hamburg) oder die Azo-Scheinwerferlampe Type C der Auergesellschaft, die auch mit Akkumulatoren gespeist werden kann.

Das Thermoelement, das ich als Demonstrationsthermometer benutze, ist denkbar einfach konstruiert; ich verwende die Kombination Konstantan-Eisen in etwa 0,6 mm starken Drähten; doch kann man die Wärmekapazität durch Verwendung dünnerer Drähte noch merklich herabsetzen. Die Enden der beiden Drähte werden ein- bis zweimal verdrillt und mit ein wenig Weichlot gut verlötet. Die Lötstelle sitzt (vgl. Fig. 1) in einer kleinen Kerbe am Ende eines 5 mm starken, etwa 38 cm langen Holzstäbchens, das axial durch einen Kork gesteckt ist. Die beiden Drähte laufen blank auf beiden Seiten des Stäbchens eng anliegend bis zum Kork, durchbrechen diesen ebenfalls, sind dann mit Isolierband umwunden und leicht verdrillt. An ihre freien Enden sind zwei stärkere, kurze Kupferdrähte angelötet, die auf einem Brettchen parallel zueinander befestigt und mit Klemmen zum Anschluß der Galvanometerleitung versehen sind. Die Entfernung vom Kork bis zur Lötstelle beträgt etwa 20 cm, die vom Kork bis zu den angelöteten Kupferdrähten etwa 40 cm. Man muß diese letzteren Lötstellen so weit vom Kork verlegen, da sie sonst von aufsteigenden Dämpfen usf. gelegentlich so stark erhitzt werden, daß beträchtliche Schwankungen und Fehler in der Ablesung des Ergebnisses auftreten. Deshalb müssen die Thermodrähte durch den Kork ohne Lötstelle hindurch- und genügend weit von der zu untersuchenden Wärmequelle fortgeführt werden. Das Holzstäbchen setzt sich auch oberhalb des Korken noch etwa 15 cm fort und dient so als Handgriff. Lästiges Verwerfen des Holzstäbchens infolge von Feuchtigkeit unterbleibt, wenn das Stäbchen mit heißem Öl getränkt oder mit Ölfarbe gestrichen wird; auch kann man es durch ein Stäbchen aus Bein (käufliche Stricknadel) ersetzen. Man kann nun das Thermoelement leicht und bequem, genau wie ein Thermometer in die Gefäße und Räume, deren Temperatur bestimmt werden soll, einsenken; zufolge seiner Konstruktion gelingt es, mit dem Thermoelement auch in sehr enge Gefäße (Probierröhren, Küvetten, enge Spalten usf.) einzudringen. Wegen seiner geringen Raumbeanspruchung und Wärmekapazität kann man mit dem Thermoelement auch die Temperatur minimaler Mengen bestimmen. Mit Hilfe des Korken kann das Thermoelement unter Umständen in passende Röhren, Kolben, Zylinder usw. eingesteckt werden. Für diese besonderen Zwecke verwende ich ein zweites Thermoelement, bei dem der Kork durch einen Gummistopfen ersetzt ist, der außerdem von zwei mit Hähnen versehenen Glasröhren durchbohrt ist. Mit weißem Siegellack sind die durch den Gummistopfen geführten Drähte und Glasröhren vakuumsicher abgedichtet.


Fig. 1.

Die Eichung des Thermoelements erfolgt wie beim Thermometer mit Hilfe des Schmelz- und Siedepunktes des Wassers; für höhere und tiefere[1]) Temperaturen werden ebenfalls bekannte Schmelz- und Siedepunkte (flüssige Luft, feste Kohlensäure, Glyzerin usf.) verwendet. Dazwischen liegende Punkte werden mit einem Präzisionsthermometer kontrolliert. Zwischenpunkte auf der negativen Seite der Skala bekommt man in beliebiger Anzahl, wenn man die Zuleitungsdrähte zum Galvanometer vertauscht und mit positiven Temperaturen arbeitet. Dabei ist die Temperaturdifferenz zwischen der Ausgangstemperatur und der Eichtemperatur sinngemäß in Rechnung zu setzen. Beginnt man z. B. mit einer Ausgangs-(Zimmer-)temperatur von 20° und befindet sich dabei das Galvanometer in der Ruhelage, so erhält man beim Einsenken des Thermoelements in siedendes Wasser auf der positiven Seite der Skala den Punkt 100°, dagegen beim Kommutieren auf der negativen Skalenseite — 60°. Die Skala ist innerhalb der in Betracht kommenden Grenzen linear und wird mit der Bezeichnung in Celsiusgraden durch starke, abwechselnd schwarze und weiße Striche auf kräftiger Pappe markiert. Diese Pappe läuft horizontal leicht verschiebbar in zwei übergreifenden Falzen eines 2 m langen, 30 cm breiten starken Holzbrettes, das mit zwei Haken an der Wand befestigt wird; die Verschiebbarkeit der Skala ist wichtig zur bequemen Einstellung und raschen Verbesserung des Nullpunktes. Die normale Skala umfaßt das Intervall von 0° ÷ 100° und hat dabei eine Länge von etwa 110 cm. Für ein größeres Intervall ist eine zweite Skala auf der Rückseite der ersten aufgezeichnet. Diese beginnt bei — 200° und erstreckt sich bis + 250°; ihre Länge beträgt etwa 180 cm. Bei ihrer Verwendung wird die Empfindlichkeit des Galvanometers durch einen Parallelwiderstand herabgesetzt. Hierzu dient die eine Seite eines Ruhstrat-Schiebewiderstandes von 200 Ohm, der als Abzweigwiderstand geschaltet ist, wobei die Stellung des Schiebers für den fraglichen Empfindlichkeitsgrad markiert ist, so daß die rasche Einstellung keine Schwierigkeiten macht. Im übrigen erfolgt die Veränderung der Empfindlichkeit des Galvanometers sehr leicht mit Hilfe des zum Instrument gehörigen Parallelwiderstandes, der es gestattet, durch einfaches Drehen einer Kurbel die Empfindlichkeit des Galvanometers im Verhältnis 1 : 10 : 100 : 1000 : 10000 herabzusetzen. Schon bei Benutzung der einfachen Skala (0° ÷ 100°) muß die Empfindlichkeit auf den zehnten Teil reduziert werden; beim Arbeiten mit der umfangreicheren Skala wird außerdem noch der Ruhstratwiderstand angewendet. Bei Ausnützung der vollen Empfindlichkeit gilt auf der normalen Skala 1° nur noch 0,1°, die ganze Skala umfaßt dann nur noch 10° und jeder Grad wird durch eine 11 cm lange Strecke dargestellt, so daß man zehntel und sogar noch hundertstel Grade ablesen kann. Man kann dann also sehr geringe Temperatur*differenzen* messen ohne Rücksicht auf die Ausgangstemperatur. Die Auswechslung der beiden Skalen kann mit Hilfe des beschriebenen Brettes rasch und bequem erfolgen. Das Galvanometer steht etwa 2,50 m von der Skala entfernt; sein Standort ist dauernd auf dem Experimentiertisch fest markiert. Sollte bei gegebener fester Montierung des Galvanometers und der Skala der Galvanometerausschlag für das gewünschte Temperaturintervall zu groß werden, so kann man ihn durch einen passend gewählten Widerstand herabsetzen; dadurch läßt sich unter Umständen sogar die Anfertigung einer neuen Skala vermeiden, wenn man nämlich den Vorschaltwiderstand so ausprobiert, daß auf der Zentimeterskala ein Skalenteil gerade einem Celsiusgrad entspricht.

Die Verwendung der Anordnung im Unterricht ist nun äußerst einfach; noch vor Beginn des Unterrichts wird das Thermoelement in ein größeres Becherglas mit Wasser von bekannter Temperatur eingesenkt; diese Temperatur muß natürlich jedesmal mit dem Quecksilberthermometer bestimmt werden und es ist wünschens-

[1]) H. Rebenstorff, Handhabung des Spiegelgalvanoskops nebst Thermoelement für niedere Temperaturen; diese Zeitschr. 23, 42, 1910.

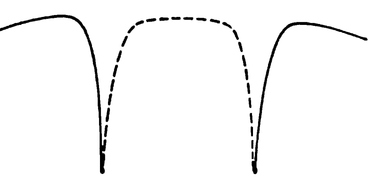


wert, aber nicht notwendig, daß sie mit der Zimmertemperatur zusammenfällt; das Galvanometer zeigt dann nämlich keinen Ausschlag. Auf diese Temperatur wird nun die Skala eingestellt, die deshalb leicht verschiebbar sein muß. Ändert sich die Zimmertemperatur beträchtlich, so muß die Skala von Zeit zu Zeit neu eingestellt werden. Unter normalen Verhältnissen bleibt die Einstellung aber während einer Unterrichtsstunde hinreichend konstant. Das Kontrollgefäß mit Wasser und Thermometer bleibt auch während des Unterrichts dauernd zur Hand, und ich senke das Thermoelement nach jeder Messung wieder in dieses Gefäß ein, um stets eine Kontrolle über die Konstanz der Ausgangstemperatur zu haben. Diese Kontrolltemperatur haben die Schüler beim Eintritt in das Physikzimmer vor Beginn des eigentlichen Unterrichts am Quecksilberthermometer abzulesen. Gewöhnlich habe ich auch den Siedepunkt des Wassers vor Beginn jeder Stunde noch einmal zur Kontrolle herangezogen. Doch ist diese Vorsicht bei sorgfältiger und ganz besonders bei fester Aufstellung des Galvanometers überflüssig.

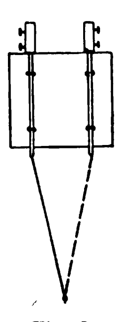
Mit Hilfe der beschriebenen Anordnung kann man nun fast alle Versuche, bei denen Temperaturbestimmungen eine Rolle spielen, quantitativ, rasch, leicht und genau ausführen, so daß gleichzeitig alle Zuhörer Kenntnis von der gemessenen Temperatur erlangen. In der Wärmelehre möchte ich die Anordnung überhaupt nicht mehr missen. Besonders schön gelingen die zur Einführung in die Kalorimetrie dienenden Mischungsversuche: Man hält abgemessene Mengen verschieden temperierten Wassers vorrätig; die Temperaturen werden mit dem Thermoelement durch einfaches Einsenken rasch bestimmt; dann wird gemischt und es ist überraschend, mit welcher Sicherheit sich der Lichtzeiger auf die erwartete Mischungstemperatur genau einstellt. In kürzester Zeit läßt sich damit eine ganze Versuchsreihe erledigen und das wichtige Gebiet vollkommen empirisch erschließen. Ebenso schön gestaltet sich die Bestimmung von Schmelz- und Siedepunkten, die kalorimetrische Messung der spezifischen, der Schmelz-, Kondensations- und Verbrennungswärme. Zur Demonstration der Abhängigkeit des Siedepunktes des Wassers vom Druck setze ich das mit Gummistopfen versehene Thermoelement dicht schließend in den Hals einer mit Wasser beschickten, starkwandigen Kochflasche, so daß die Lötstelle ins Wasser hineinragt. Zunächst wird bei Atmosphärendruck bis auf 100° erhitzt; dann läßt man abkühlen und pumpt mit der Wasserstrahlpumpe durch das eine Glasrohr im Gummistopfen ab, während das andere verschlossen bleibt, so daß der Druck sinkt; das Sieden beginnt von neuem und der Lichtzeiger zeigt die niedrigere Siedetemperatur an. Die gleiche Anordnung dient zur Vorführung der Kompressions- und Expansionswärme; der Kolben ist dann nur mit Luft gefüllt; die durch rasches Abpumpen der Luft bewirkte Abkühlung und die beim plötzlichen Wiedereintritt der Luft auftretende Erwärmung wird mit dem Thermoelement gemessen.

Bei diesem letzteren Versuche empfiehlt es sich, die volle Empfindlichkeit des Galvanometers auszunutzen, ebenso wie bei allen Versuchen, bei denen es sich um die Bestimmung kleiner Temperaturdifferenzen handelt, wie etwa bei der kalorimetrischen Messung der spezifischen Wärme, oder bei der quantitativen Bestimmung der Lösungswärme. Man kann damit die Temperaturerhöhung oder -erniedrigung messen, die bei der Lösung einer abgewogenen Menge von Kochsalz, Schwefelsäure usf. in einer bestimmten Menge Wasser auftritt. Liegt dabei die Ausgangstemperatur schon wesentlich von der Zimmertemperatur entfernt, so läßt sich die empfindliche Anordnung nicht ohne weiteres verwenden, da hier die Ausgangstemperatur schon einen viel zu großen Galvanometerausschlag bewirkt. Das trifft z. B. zu bei Versuchen über Siedepunktserhöhung und Gefrierpunktserniedrigung von Lösungen (Beckmannsches Verfahren), oder bei dem bekannten Versuch über das Dichtigkeitsmaximum des Wassers, wobei eine Eisschicht auf das Wasser gebracht wird und oben 0°, unten 4° gemessen werden. Für diese Fälle verwendet man zweckmäßig ein Differentialverfahren, bei dem zwei gleichartige Thermoelemente gegeneinander geschaltet sind

(Fig. 2). Bringt man beide Lötstellen auf dieselbe Temperatur, indem man sie etwa in zwei verschiedene Gefäße mit siedendem Wasser einsenkt, so zeigt das Galvanometer keinen Ausschlag, da die thermoelektrischen Wirkungen sich wegen der Gegenschaltung aufheben. Tritt nun durch Zusatz irgend einer Substanz (Kochsalz) in dem einen Gefäß eine Siedepunktserhöhung ein, so überwiegt die Thermokraft des zugehörigen Elements, und die kleine Temperaturerhöhung läßt sich mit der empfindlichen Galvanometereinstellung sehr genau messen.


Fig. 2.

Für eine Reihe von Versuchen mehr qualitativer Natur kann man dem Thermoelement eine andere Form geben (Fig. 3). Auf einem dünnen, quadratischen Brettchen von etwa 5 cm Seitenlänge sind parallel nebeneinander zwei starke Kupferdrähte mit Drahtschlingen, die durch kleine Löcher im Brettchen führen, befestigt. Am Ende des einen Kupferdrahtes ist ein dünner Eisendraht, am Ende des anderen ein dünner Konstantandraht angelötet. Die freien Enden dieser beiden, etwa 10 cm langen Drähte sind leicht miteinander verdrillt und verlötet. An den anderen Enden der Kupferdrähte wird das Galvanometer angeschlossen. Dabei verwende ich, wenn die Empfindlichkeit möglichst groß sein soll, ohne Vorschaltwiderstand die Galvanometerspule, die bei wenig Windungen kleinen Widerstand (7 Ohm) hat, während für die übrigen Versuche die Spule mit größerem Widerstand (100 Ohm) genügt. Mit diesem Thermoelement gelingt es sehr gut, die Erzeugung von Wärme durch Stoß, Druck, Reibung usf. nachzuweisen. Ein schwacher Hammerschlag auf die Lötstelle, ein Strich mit der Feile, Reiben der Lötstelle mit zwei kleinen Holzstückchen, leichtes Andrücken der Lötstelle an die Riemenscheibe eines laufenden Elektromotors genügt, einen beträchtlichen Galvanometerausschlag hervorzurufen. Allerdings muß man dabei vorher durch leichtes Anlegen des Hammers, der Feile usw. nachweisen, daß Lötstelle und Hammer die gleiche Anfangstemperatur haben und daß nicht etwa statische Temperaturdifferenzen die Wirkung hervorbringen. Fremde Wärmewirkungen (Wärme der Hand, Wärmestrahlung einer Lampe usw.) sind hier ganz besonders sorgfältig fernzuhalten. Mit Hilfe dieses Thermoelements gelingt es sogar, die Verwandlung der kinetischen Energie eines frei fallenden Körpers beim plötzlichen Anhalten in Wärme nachzuweisen, eine Tatsache, die wegen ihrer Wichtigkeit nach empirischer Bestätigung im Unterricht dringend verlangt. Zu diesem Versuche verwende ich die Galileische Fallrinne; auf ihr rollt eine Stahlkugel von 4 cm Durchmesser herab und schlägt am unteren Ende der Rinne senkrecht gegen ein kleines Holzklötzchen, das zur Herbeiführung eines annähernd unelastischen Stoßes mit einem dicken Plastilinaklumpen an einen schweren eisernen Amboß geklebt ist. Genau an der Aufschlagstelle sitzt das Thermoelement, so daß die Kugel scharf an die Lötstelle trifft. Die Fallrinne selbst wird aus einer 2 m langen, kräftigen Holzlatte gebildet, auf der zwei Messingröhren unmittelbar nebeneinander befestigt sind[1]). Läßt man nun die Kugel der Reihe nach $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$, $^1/_1$ der Länge der Fallrinne durchlaufen, so ergeben sich Galvanometerausschläge, die sich recht gut wie 1 : 2 : 3 : 4 verhalten. Die Feinheit des Versuches erhellt, wenn man bedenkt, daß dabei die größte, wirklich freie Fallhöhe etwa 20 cm beträgt. Die Galvanometerausschläge betragen darum auch nur einige Zentimeter, und deshalb wirken fremde Wärmequellen und Temperaturunterschiede der ganzen Anordnung recht störend. Man tut also gut, den Versuch schon am Tage vorher aufzubauen, so daß der völlige Temperaturausgleich während der Nacht erfolgen kann, und ihn dann möglichst früh zu Beginn der ersten Unterrichts-


Fig. 3.

[1]) Vgl. H. Hahn, Handbuch für phys. Schülerübungen (1909), S. 142.

stunde vorzuführen. Auch muß man sich streng hüten, die Kugel mit der Hand anzufassen, da sie dabei so stark erwärmt wird, daß diese Wirkung den eigentlichen Effekt verdeckt. Man schiebt die Kugel am besten mit einem langen Holzstab auf der Rinne vom tiefsten Punkt zur Ablaßstelle. Der schöne Versuch läßt natürlich mannigfaltige Abänderungen zu. Man kann einen wirklich frei fallenden Körper oder ein Pendel mit schwerer Bleikugel verwenden, wobei die Amplitude verändert und das Thermoelement an der tiefsten Stelle der Bahn der Kugel aufgestellt wird. Ausführlichere Mitteilungen über diese Versuche sollen gelegentlich folgen.

Mit all den angegebenen Versuchen ist die Anwendungsmöglichkeit des Thermoelements längst nicht erschöpft. So kann man es in Verbindung mit dem Galvanometer zur Messung von Wechselströmen bequem verwenden. Man lötet ein sehr feines Thermoelement quer über einen nicht zu starken Hitzdraht, der in die Wechselstromleitung, unter Umständen im Nebenschluß, eingeschaltet wird; die Stärke des Hitzdrahtes wird nach der Stärke der zu messenden Ströme ausgewählt. Diese Anordnung kann bis zu gewissem Grade das Telephon bei Messungen in der Wheatstoneschen Brücke ersetzen und so die objektive Vorführung der Versuche ermöglichen. Es sei auf die besonders für Wechselstrommessungen konstruierten Vakuumthermoelemente von Siemens und Halske verwiesen[1]). Bei messenden Versuchen über elektrische Schwingungen bilden sehr feine Thermoelemente ein zuverlässiges und bequemes Hilfsmittel; ich ziehe sie besonders für quantitative Bestimmungen (Aufnahme der Resonanzkurve) im Unterricht dem Kristalldetektor vor.

Die meisten Versuche über Wärmestrahlung gestalten sich ebenfalls mit dem Thermoelement sehr einfach. Es empfiehlt sich, für diese Zwecke ein Thermoelement nach Art von Fig. 3 aus möglichst dünnen Drähten herzustellen, die Lötstelle zu einem feinen flachen Scheibchen auszuhämmern und mit Ruß zu schwärzen. Doch bleibt für Strahlungsmessungen immer die Thermosäule vorzuziehen. Besonders empfehlenswert ist wegen ihrer geringen thermischen Trägheit die lineare Thermosäule nach Rubens. Mit dieser zeige ich das Wärmespektrum unter Verwendung von Steinsalzoptik, wobei als Wärmequelle ein Kohlebogen mit dicht davor gesetztem, nicht zu engem Spalt dient; dabei erhalte ich im Ultrarot im Maximum einen Galvanometerausschlag von über 1 m. Auch kann man hier mit der Thermosäule das hochwichtige Gesetz der Beziehung zwischen Intensität und Quadrat der Entfernung, dessen Bestätigung im Magnetismus und in der Elektrostatik immerhin mit Schwierigkeiten verbunden ist, in der Gravitation aber ganz unterbleiben muß, leicht und bequem experimentell vorführen; als Wärmequelle genügt eine gewöhnliche Glühlampe oder eine Nernstlampe; die Entfernung läßt sich bis 2 m und mehr variieren. Infolge der geringen Trägheit der ganzen Anordnung kann man den Versuch in wenigen Minuten anstellen.

Die geringe Trägheit ist bei all den hier beschriebenen Versuchen eine große Annehmlichkeit und ein besonderer Vorzug des Thermoelements gegenüber dem Thermometer. Ist die Anordnung einmal aufgebaut, dann wickeln sich die Versuche durchweg sehr rasch und sicher ab. So wird es auch möglich, Vergleichsversuche, die mit dem Doppelthermoskop gleichzeitig ausgeführt werden, rasch nacheinander durchzuführen. Das Thermoelement ist so handlich, daß es sich leicht von einer zur andern Stelle umsetzen läßt. Unter Umständen wendet man zwei oder noch mehr Thermoelemente an, die mit einem Umschalter dann der Reihe nach mit dem Galvanometer verbunden werden, obwohl dabei wegen des vielleicht wechselnden Übergangswiderstandes große Vorsicht geboten ist. Manche Versuche, bei denen es nur auf Temperaturdifferenzen ankommt (Wärmeleitung), lassen sich auch mit dem Differentialthermoelement (Fig. 2) ausführen, so daß dann zwei Thermometer überflüssig werden.

---

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1906, S. 467.



Besonders wichtig ist es, bei all diesen Versuchen fremde Thermokräfte aus der Galvanometerleitung fernzuhalten; man vermeide also Lötstellen in der Zuleitung nach Möglichkeit. Sind sie vorhanden, so schütze man sie vor äußeren thermischen Einflüssen durch Umhüllen und Bedecken mit Tuch oder Watte.

Wertvolle Bemerkungen über Thermoelemente, besonders was die thermoelektromotorische Kraft verschiedener Metallkombinationen anlangt, findet man in „Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik", 11. Aufl. S. 161.

Zum Schlusse sei noch einmal betont, daß das gute Gelingen der Versuche im wesentlichen von der Qualität des Galvanometers, insbesondere von seiner geringen Trägheit und seiner guten Aperiodizität abhängt. Mit einem Magnetinstrument älterer Konstruktion gestalten sich die Versuche so zeitraubend, umständlich und unbefriedigend, daß von ihrer Ausführung nur abgeraten werden kann [1]).

Über den Widerstand des Mittels.

Von Prof. **Joh. Kleiber** in München.

1. Vorbemerkung. Wenn man im Unterricht auf den Widerstand des Mittels zu sprechen kommt, so weist man darauf hin, daß dieser im großen und ganzen mit dem Quadrat der Geschwindigkeit des Körpers zunimmt, den man in dem betreffenden Mittel bewegt. Man stützt sich dabei auf die Autorität Newtons und weist überdies darauf hin, daß man in einem später durchzunehmenden Abschnitt des Unterrichts durch einfache mathematische Überlegungen zeigen kann, daß unter gewissen, vereinfachenden Annahmen der Druck eines Luftstromes auf eine feste Fläche mit dem Quadrat der Geschwindigkeit des Luftstromes wächst.

Dieses Verfahren des „Hinweises" hat aber im zeitgemäßen Betrieb unseres Physikunterrichts nur sekundäre Bedeutung. An erster Stelle erwartet der Schüler einen Versuch, womöglich mit einfachen Mitteln, der möglichst rasch die Form des gesuchten Gesetzes erkennen läßt. Eine kleine Vorrichtung, die diesem Zweck vollauf genügt, sei hier beschrieben.

2. Beschreibung des Apparates. Die nebenstehende Fig. 1 zeigt uns den überaus einfachen Aufbau der ganzen Versuchsanordnung. Auf einer Wanne, die mit Wasser gefüllt ist (ich benutze dazu den zu optischen Zwecken vorhandenen Glas-

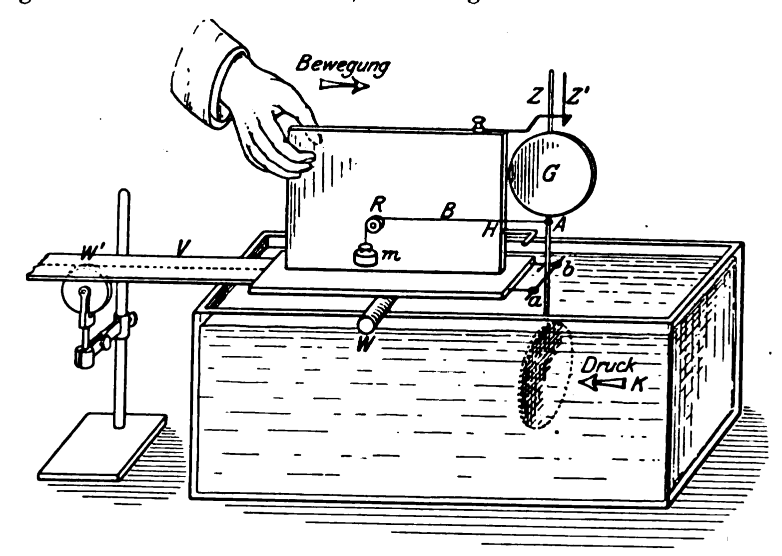


Fig. 1. Die Schlittenvorrichtung.

[1]) Die in der Abhandlung angeführten Thermoelemente können von den „Physikalischen Werkstätten G. m. b. H. Göttingen (Hainholzweg 46)" mit den nötigen Zubehörteilen (Glaskolben Skala usf.) bezogen werden. — Man vergleiche auch die Mitteilung des Verfassers unter Korrespondenz in diesem Heft S. 32.

trog von 36 cm Länge, 25 cm Breite, und 30 cm Höhe; man kann aber hierzu auch das in den meisten Haushaltungen vorhandene rechteckige Kohlenvorratsbecken aus Blech benutzen, da ja die Durchsichtigkeit keine Rolle spielt), kann ein Schlitten auf zwei Walzen (W, W') wagerecht hin und her bewegt werden. Dieser Schlitten besteht aus einem Grundbrett von $\sim$ 40 cm Länge und $\sim$ 10 cm Breite, auf dem vertikal stehend ein zweites Brettchen befestigt ist. (Durch ein paar durch das Grundbrett getriebene Nägel ist diese Befestigung leicht zu erreichen.) Zur bequemeren Führung des Schlittens ist an das Grundbrett ein schmäleres Verlängerungsstück V angefügt, das auf einer Rolle W' gleitet. Um das Abgleiten zu verhindern, genügt es, auf der Unterseite der Schiene V einen dicken Draht anzubringen (vergleiche die gestrichelte Linie), der in die Schnurlaufrinne der benutzten Rolle paßt.

Der Schlitten trägt, wie die Figur zeigt, auf der Schmalseite vorn zwei Ösen a und b, die man durch geeignetes Umbiegen der Köpfchen zweier Stecknadeln herstellt. (Die so gebogenen Stecknadeln werden mit den Spitzen in das Grundbrett getrieben.) In diesen Ösen hängt das Pendel FG.

Das Pendel ist auf sehr einfache Weise aus einer Stricknadel herzustellen. Man lötet zunächst an eine erste Stricknadel quer dazu als Drehachse des Pendels eine zweite (kürzeres Stück genügt). An die beiden freien Enden der Hauptstricknadel lötet man schließlich zwei gleichgroße Blechscheiben (F, G) in nahezu gleichem Abstand von der Mitte (in meinem Falle waren es zwei kreisförmige Weißblechscheiben von $\sim$ 5 cm Halbmesser, also $\sim$ 80 cm^2 Fläche) und zwar so, daß die Scheibe F in der Ebene der Achse ab, gegen die (als Tarierkörper) dienende Scheibe G senkrecht steht. Die Tarierscheibe G versieht man mit einem langen vertikalen Zeiger Z und klebt (mit etwas Klebwachs) auf die Rückseite dieser Scheibe kleine Tarierstückchen (wenn dieses noch nötig sein sollte) auf, bis das vertikal stehende Pendel fast im labilen Gleichgewichte ist. Um die „Nullstellung“ des Zeigers Z leicht feststellen zu können, ist dahinter ein Hilfszeiger Z' angebracht. Diesen fertigt man sich am einfachsten aus einem rechtwinkelig gebogenen Drahtstück, das man mit Hilfe eines Nagels am vertikal stehenden Brettchen des Schlittens befestigt.

Ein hakenförmiger Nagel H, den man seitlich in das Standbrett treibt, dient mit seinem quergestellten Teil als Hemmung für das Pendel, damit dieses vom Spanngewichtchen m nicht zu weit aus seiner Ruhelage herausgezogen wird. (Da das Pendel nahezu im labilen Gleichgewicht ist, würde schon eine kleine, quer auf das Pendel wirkende Kraft einen Ausschlag von $\sim 90^0$ hervorrufen.)

Das Spanngewichtchen m hängt an einem Bindfaden B, der über eine kleine Rolle R führt. Der Faden B ist an einem Punkte A des Pendels so befestigt, daß er in der Ruhestellung des Pendels wagerecht verläuft. Als Rolle dient ein etwa 3 cm langes Stück Bleistift, aus dem der Bleistiftkern herausgetrieben ist. Es wird einfach auf einen längeren Nagel gesteckt, auf dem es sich leicht drehen kann, und dieser Nagel wird schließlich etwas ins Brett hineingetrieben. (Diese Art von Rolle hat sich auch bei anderen Schülerversuchen überraschend gut bewährt.)

3. Verfahren. Bewegt man den Schlitten, so übt das Wasser auf die Scheibe F einen Druck aus; dabei dreht sich das Pendel und zieht das spannende Gewichtsstück m empor. Bewegt man den Schlitten mit solcher Geschwindigkeit v, daß der Zeiger während der ganzen Bewegung auf „Null“ einspielt, so ist die vom Wasser auf die Scheibe F ausgeübte, unbekannte Kraft P mit der vom Gewichtstück m ausgeübten Kraft m Gramm ($= m \cdot g$ Dyn) am Hebel, den das Pendel darstellt, im Gleichgewicht. Es ist also der gesuchte Widerstand K bis auf einen Proportionalitätsfaktor gleich dem Spanngewicht m (Gramm).

Ersetzt man das Spanngewicht durch ein schwereres, so muß man den Schlitten schneller als vorher bewegen, damit der Zeiger während der ganzen Bewegung auf Null einspielt.



Um nun die Geschwindigkeit des Schlittens dabei zu ermitteln, stellt man neben der Wanne ein Metronom auf, das z. B. $^1/_2$ Sekunden schlägt und zählt (je mit dem Wort: Null beginnend) die Zahl der Taktschläge, die vergehen, bis man die Laufbahn auf der Wanne (in meinem Falle betrug sie 28 cm) mit dem von der Hand gleichmäßig schnell fortgeführten Schlitten mit jener Geschwindigkeit durchmessen hat, die nötig ist, um den Zeiger auf seiner Nullstellung beharren zu sehen.

Bei geringen Spannungen ist die erforderliche Geschwindigkeit des Schlittens recht mäßig. So war bei der Spannung von 1 g die Laufbahn von 28 cm erst nach 38 Taktschlägen (= 19 Sekunden) zurückzulegen, d. h. mit einer Geschwindigkeit $v = s/t = 28$ cm : 19 sec = 1,47 cm/sec.

4. Versuchsreihe. Wie man sieht, ist der Apparat ziemlich leicht mit den einfachsten Mitteln herzustellen. Es ist aber überraschend, welch gute Resultate er liefert. Mit einem solchen absichtlich rasch zusammengestellten Apparat wurden ohne Rücksicht auf besondere Genauigkeit in einem Zug durch Auswechslung des Gewichtsstücks m eine Reihe von Versuchen ausgeführt, die folgende Zahlenpaare ergaben (Versuche, bei denen ein Taktschlag nicht scharf mit dem Ende der Laufbahn zusammenfiel, wurden wegen der Schwere der Schätzung von Bruchteilen von Taktzeiten im allgemeinen fortgelassen):

Belastung m	1 g	2 g	3 g	4 g	5 g	8 g	11 g	13 g	17 g	22 g	30 g	44 g	65 g	110 g
Zahl d. Taktschläge n	38	26	20	17	15	12	10	9	8	7	6	5	4	3?

Da die Laufbahn in allen Fällen 28 cm war, so ergibt sich die Geschwindigkeit des Schlittens, wenn die Laufbahn in n Taktschlägen zurückgelegt wird, nach der Formel $v = 28 \text{ cm} : \left(\frac{n}{2} \text{ sec}\right) = 56 : n$ cm/sec. Berechnet man nach dieser Formel die Geschwindigkeiten für die obige Versuchsreihe, so ergeben sich folgende Zahlenpaare:

Belastung m	1 g	2 g	3 g	4 g	5 g	8 g	11 g	13 g	17 g	22 g	30 g	44 g	65 g	110 g
Geschw. v in cm/sec	1,47	2,2	2,8	3,3	3,73	4,67	5,6	6,2	7	8	9,3	11,2	14	18,7?

Wie das Diagramm (Fig. 2) zeigt, lassen sich die erhaltenen Diagrammpunkte fast glatt durch eine parabelartige Kurve verbinden. Daraus geht hervor, daß die Beobachtungen trotz der Mängel des Apparats und der Zeitbestimmung unterrichtlich bereits gut brauchbar sind. (In der verkleinerten Figur 2 sind wagerecht die Geschwindigkeiten, als Abschnitte, senkrecht dazu die Hemmungsgewichte m angetragen; letztere im Verhältnis zu den Geschwindigkeiten auf $^1/_4$ verkürzt. Die zwei letzten Tabellenwerte sind weggelassen, um Raum zu sparen, fügen sich aber der Kurve auch sehr gut ein.)

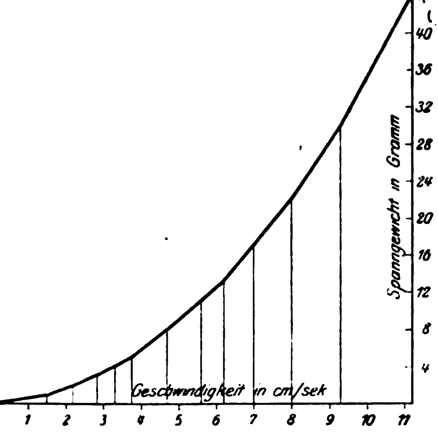


Fig 2. Diagramm des Widerstandes.

5. Das Gesetz. Aus der Tabelle entnimmt der Schüler sofort, daß der Widerstand der Flüssigkeit nahezu mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt. Der Lehrer läßt dies durch geeignete Stichproben prüfen. Wäre das Gesetz genau, so sollte z. B. der Spannung 8 g, die 4 mal so groß ist als die Spannung 2 g, die doppelte Geschwindigkeit wie letzterer zukommen, also $v = 2 \cdot 2{,}2$ cm/sec = 4,4 cm/sec; tatsäch-

lich zeigt die Tabelle statt 4,4 cm/sec die ihr nahegelegene Zahl 4,67 cm/sec usw. Hieraus folgt schon, daß der doppelten Geschwindigkeit nicht ganz die 4fache Kraft entspricht. Ergebnis: Die Kraft wächst etwas weniger stark als das Quadrat der Geschwindigkeit. Dieser Ausspruch gilt selbstverständlich nur für den Bereich unserer Betrachtungen. Was darüber hinausliegt, entzieht sich zunächst unserer Kenntnis; dies muß dem Schüler besonders in diesem Falle eindringlich gesagt werden, da, wie die Praxis zeigt, in gewissen höheren Gebieten der Geschwindigkeit das quadratische Gesetz ziemlich genau gilt, in noch höheren dagegen eine höhere als die zweite Potenz der Geschwindigkeit in Betracht kommt.

6. Zeichnerische Bestimmung des Potenzexponenten. Der Lehrer kann übrigens das zur Tabelle leicht zu zeichnende Diagramm benutzen, um dem Schüler einen Kunstgriff im Auffinden jener Parabel

$$y = p \cdot x^n$$

mitzuteilen, die sich einem herausgegriffenen Diagrammgebiet am besten anschmiegt. Er läßt hierzu an verschiedenen Stellen der Kurve Tangenten nach bestem Empfinden anlegen und die „Subtangenten N“ messen. Dann ist das Verhältnis $x : N$ der gesuchte Exponent der Schmiegeparabel:

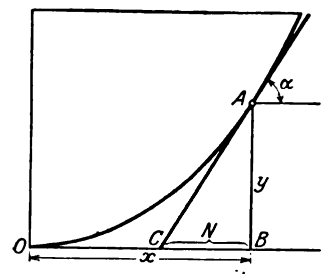


Fig. 3. Graphische Bestimmung des Parabelexponenten.

$$n = \text{Abschnitt } x : \text{Subtangente } N$$

[Der Beweis ist bekanntlich sehr einfach; man vergleiche hierzu Fig. 3. Ist y' die Abkürzung für den Differentialquotienten dy/dx, so ist für die Kurve $y = p \cdot x^n$, $y' = n \cdot p \cdot x^{n-1}$, also $x \cdot y' = (n \cdot p \cdot x^n =)\, n \cdot y$; woraus

$$n = \frac{x \cdot y'}{y} = x : \frac{y}{y'} = x : N,$$

da $y' = tg\alpha = y : N$ ist.]

Führt man nun für einige Punkte unserer Diagrammfigur diese Bestimmung für n durch, so ergibt sich, daß n kleiner als 2 ist. Der Exponent n steigt von 1,72 gegen 2 an.

Dieses Ergebnis stimmt mit den in der Schiffbautechnik gewonnenen Ergebnissen gut überein. Für mäßig große Kanäle fand man dort für Geschwindigkeiten $v = 0{,}5$, bzw. 1,0, bzw. 2,0 m/sec die ungefähren Exponenten $n \approx 1{,}6$; 2 bis 2,25; 2,7 bis 3 [vgl. Hütte S. 327]. Wir können also mit dem gewonnenen Ergebnis zufrieden sein, um so mehr, als bei einem so engen Gefäß wie unserer Wanne der sog. Wellenwiderstand schon stärker hervortritt und den Exponenten etwas erhöht.

7. Druck auf 1 cm². Nehmen wir der Kürze halber an, daß der Druck auf ein jedes cm² der im Wasser bewegten Fläche F derselbe sei, und daß die Randwirkung (was auch bei kleineren Geschwindigkeiten erst noch zu untersuchen wäre) nicht in Betracht komme, so kann man leicht aus der Tabelle den Druck auf 1 cm² der bewegten Fläche für verschiedene Geschwindigkeiten berechnen, da dann das Drehmoment aller auf die Flächenteile von F wirkenden Teildrucke gleich dem Drehmoment ihrer im Mittelpunkt der Scheibe angreifenden Resultante P ist. Ist nun l' der Abstand dieses Mittelpunktes von der Drehachse des Pendels, ferner l der Abstand des Angriffspunktes A des Spanngewichtchens m von ihr, so besteht im Gleichgewichtsfalle, der durch die Nullstellung des Zeigers gekennzeichnet ist, die Hebelgleichung:

$$m \cdot g \cdot l = P \cdot l',$$

woraus

$$P = \frac{l}{l'} \cdot m \cdot g \text{ (Dyn)}.$$

Den Druck P_1 auf 1 cm² erhält man schließlich, wenn man den Gesamtdruck P durch die Fläche F teilt.

Im Falle der oben geschilderten Versuchsanordnung war $l = 5$ cm, $l' = 13$ cm $F \sim 80\,\text{cm}^2$. Daher ist die jeweils in unserem Falle auf 1 cm² wirkende Kraft:

$$P_1 \approx 4{,}71 \cdot m \text{ (Dyn)}.$$

Führen wir diese Umrechnung aus, so ergibt sich die Schlußtabelle:

Geschw. v in cm/sec ≈	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Druck P_1 auf 1 cm² ≈	2,3	7,5	15,1	28,3	41,4	58,4	79,1	106	131,9	154,5	199,7	230,5	269,4 Dyn

Hierbei sind die aus dem Diagramm interpolierten Werte sinngemäß benutzt.

8. Verwertung als Schülerübung auf der Oberstufe. Stehen genügend viele einfache Wannen zur Verfügung, so kann dieser Versuch zu einer dankbaren Schülerübung verwendet werden, da die Schüler dabei viel lernen. Der Versuch setzt gleichzeitig Hand, Auge und Ohr in Tätigkeit und behandelt ein für die Technik wichtiges Gebiet, auf dem es noch nicht gelungen ist, das Zahlenmaterial in eine einzige, alles umfassende Gleichung zu verdichten, ähnlich wie bei vielen anderen technisch wichtigen Problemen, wobei der Lehrer wohl zunächst auch auf die Abhängigkeit der Dampfspannung von der Temperatur und andere solche Fragen hinweist. Die Ausführung des Versuchs gibt aber Gelegenheit, das Annäherungsverfahren kennen zu lernen, um eine Schmiegegleichung aufzufinden und reizt die Schüler an, auf diesem noch nicht endgültig abgeschlossenen Gebiet selbst etwas besonders Gutes zu leisten. Gleichzeitig kann der Lehrer auf die Strömungen und Wirbel eingehen, die bei der Bewegung einer Fläche in einem widerstrebenden Mittel auftreten und auch auf Fragen der Flugtechnik hinweisen, die bekanntlich alle Schüler lebhaft interessieren. Da ein Materialverbrauch bei Ausführuug dieses Versuchs nicht eintritt, so sind die Kosten bei der großen Einfachheit der benötigten Vorrichtung gering.

Das Ruder als Hebel.

Von Dr. H. Cassebaum in Lübeck.

Wohl kaum ein Schullehrbuch der Physik vergißt unter den Beispielen für die Anwendungsmöglichkeiten des Hebels auch das Ruder aufzuzählen. In den weitaus meisten Fällen geschieht dies nur ohne näheres Eingehen auf die besonderen, hier vorliegenden Verhältnisse und nur vereinzelt finden sich darauf hindeutende Zusätze, wie etwa: Drehpunkt im Wasser! oder dergleichen.

Für welche der verschiedenen Hebelarten ist nun das Ruder als Beispiel heranzuziehen? Einseitiger oder zweiseitiger Hebel, Kraft- oder Geschwindigkeitshebel? Der unbefangene Schüler, der keine versteckt liegenden Schwierigkeiten vermutet, wird natürlich zunächst das Ruder als zweiseitigen Geschwindigkeitshebel betrachten, bei dem der Drehpunkt im Auflagerpunkt (Dolle) liegt und bei dem die Kraft am kürzeren Hebelarm und die Last — der Widerstand des Wassers — am längeren Arm, im Ruderblatt angreift. Dann aber, aufmerksam gemacht durch die Frage, welcher Punkt des Ruders bei einem in voller Fahrt befindlichen Boote während des einzelnen Ruderschlages in Ruhe bleibe, wird er sich dafür entscheiden, daß der Drehpunkt im Blatt sei, die Kraft am langen und die Last am kurzen Hebelarm angreife, also für den einseitigen, Krafthebel.

Daß aber auch diese zweite Betrachtungsweise nicht richtig sein kann, zeigt folgender Einwurf, den bei der Behandlung dieses Gegenstandes im Unterricht ein interessierter Schüler vorbrachte: Wäre das Ruder wirklich ein einseitiger und demnach Kraft sparender Hebel, so müßte man mit dem Angriffspunkt der Kraft immer näher an den Angriffspunkt der Last herangehen können, ohne daß sich etwas anderes als die Größe der Kraftersparnis änderte, man müßte also im Grenzfall, wenn auch ohne jegliche Kraftersparnis, das Boot durch Angreifen an den Dollen selber vorwärts bringen können.

Diese Schlußfolgerung zeigt ohne weiteres die Unhaltbarkeit dieser zweiten Betrachtungsweise. Bei ihr ist nämlich ein Fehler untergelaufen, der darin steckt, daß

hier nicht nur zwei Kräfte, sondern deren drei in Frage kommen. Diese dritte Kraft ist der durch die Füße auf das Fußbrett ausgeübte und durch den Bootskörper und die Dollen auf die Ruder übertragene Druck, der seiner Größe nach gleich und seiner Richtung nach entgegengesetzt dem durch die Arme auf die Ruder ausgeübten Zuge ist.

Auf das Ruder mit dem Drehpunkt B (Fig. 1) wirken am Hebelarm $(a + b)$ die Zugkraft des Ruderers P und am Arme b im entgegengesetzten Sinne nicht nur der auf das einzelne Ruder entfallende Anteil Q des gesamten auf das Boot ausgeübten Wasserwiderstandes $2\,Q$, sondern außerdem noch die ursprünglich auf das Fußbrett F ausgeübte, aber durch den Bootskörper auf das Ruder übertragene Druckkraft der Füße P. Die dem Widerstand des Wassers das Gleichgewicht haltende Kraft muß also der Gleichung:

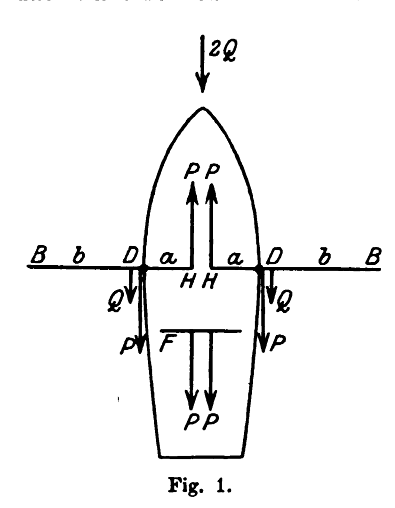


Fig. 1.

$$P\,(a + b) = (Q + P)\,b$$
$$P = Q \cdot \frac{b}{a}$$

genügen. Dieser Wert für P ist nun aber genau derselbe, wie er sich bei der ersten naiven Betrachtungsweise des Ruders als zweiseitigen Geschwindigkeitshebels ergibt: Drehpunkt D, P in H am Arm a und Q in B am Arm b, also

$$P\,a = Q \cdot b$$
$$P = Q \cdot \frac{b}{a}.$$

Bei der ersten Betrachtungsweise war demnach das Endergebnis — Geschwindigkeitshebel — richtig, obwohl die Annahme — Drehpunkt in der Dolle, Angriff des Wasserwiderstandes im Blatt — unzutreffend war, während die zweite Betrachtungsweise trotz richtiger Annahme — Drehpunkt im Blatt, Angriff des Wasserwiderstandes in der Dolle — zum falschen Endergebnis — Krafthebel — kam, wegen des nicht beachteten Gegendruckes der Füße.

Es handelt sich bei diesem Problem um eine Relativitätsfrage; es kommt ganz darauf an, was man als Bezugssystem annimmt. Relativ zum Boot ist das Ruder ein zweiseitiger Geschwindigkeitshebel, bei dem der in der Dolle als im Drehpunkt angreifende Gegendruck der Füße nicht berücksichtigt zu werden braucht; relativ zum Wasser hingegen ist es ein einseitiger Hebel, bei dem zwar die Kraft am längeren Hebelarm angreift, aber doch nicht an Kraft, sondern an Weg gespart wird, weil hier der Gegendruck der Füße nicht außer acht gelassen werden darf.

Wenn dieser Gegendruck ausgeschaltet wird, wie es z. B. dadurch eintreten könnte, daß das Boot unter einem über das Wasser führenden Steg hindurchgleitet und hierbei die Ruder von einem auf dem Stege Stehenden gehandhabt werden, so liegt ein einseitiger Krafthebel vor. Drehpunkt B Angriffspunkt der Kraft P in H und der Last Q in D.

$$P\,(a + b) = Q \cdot b$$
$$P = Q \cdot \frac{b}{a + b}.$$

Dann kann natürlich auch die Kraft P in der Dolle selber angreifen, wodurch dann allerdings die Kraftersparnis verloren geht, da $a = o$ und $P = Q$ wird. Der auf dem Stege Stehende kann den Widerstand des Wassers überwinden unter Benutzung der Ruder mit Kraftersparnis und Wegverlust, aber auch ohne dieselben durch direkten Angriff an den Dollen.

Diese Ausführungen und Gleichungen sind insofern nicht einwandfrei, als ihnen Gleichgewichtszustände zugrunde liegen, während exakterweise nur vom bewegten Boote die Rede hätte sein dürfen, da das Ruderblatt um so weniger als im Wasser festliegend angesehen werden darf, je mehr die Geschwindigkeit des Bootes abnimmt.

Die zum Vorwärtstreiben des Bootes nötige Kraft P' ist natürlich größer als die sich aus obigen Gleichungen ergebende Kraft P. Diese betrachtete Gleichgewichtslage ist dann verwirklicht, wenn die Ruderblätter gegen feststehende Pfähle gestemmt werden und der Rudernde nur dem Druck des entgegenströmenden Wassers standzuhalten hat.

Derselbe Schüler, durch dessen Einwand diese eingehende Behandlung des Stoffes im Unterricht hervorgerufen wurde, fertigte in der Schülerwerkstatt ein Modell an, das die dargelegten Verhältnisse sehr klar zur Anschauung bringt (Fig. 2). Auf einem einer Fußbank ähnlichen Grundgestell, auf dessen oberer Fläche als Schienen zwei Glasröhrchen eingelassen sind, gleitet mittels zwei weiterer quer gelegter Glasröhrchen das den Bootskörper darstellende, entsprechend zugeschnittene Brett. Der Widerstand des Wassers wird durch Gewichte Q gebildet, die das Boot nach hinten ziehen, der tragende Faden läuft über eine am Grundblatt angebrachte Rolle R_1. Am Rande des Bootes befinden sich als Dollen zwei Stifte, um die sich auf untergelegten Glas-

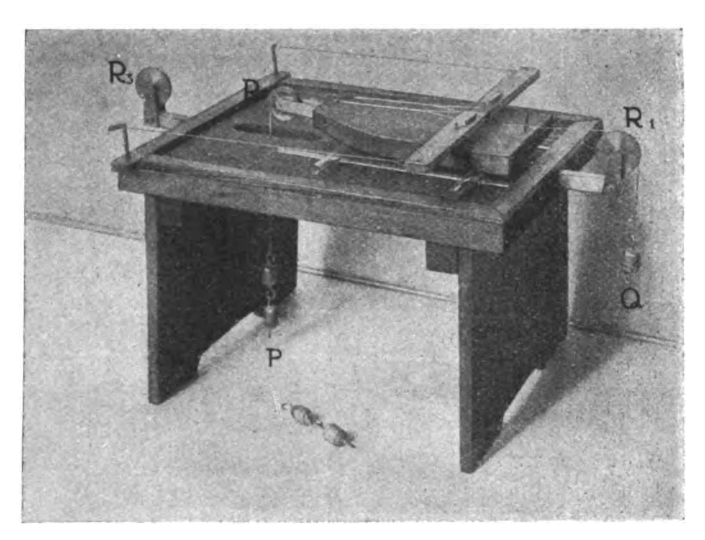


Fig. 2.

perlen die beiden Ruder drehen können. Bei den Rudern wurde nicht das dem tatsächlichen Sachverhalt besser entsprechende Verhältnis $a : b = 2 : 5$ gewählt, sondern der Einfachheit halber $a : b = 1 : 2$. Die die Blätter darstellenden Enden der Ruder durften nicht einfach auf feststehende Achsen gesteckt werden, da sich ja die Dollen auf parallelen Geraden bewegen und demnach die Ruderblätter seitliche Bewegungsfreiheit haben müssen. Diese wird dadurch erreicht, daß sie durch zwei Fäden mit zwei in den vorderen Ecken des Grundbrettes befestigten Stiften verbunden sind. An den beiden Handgriffen greifen zwei Fäden an, die sich bald dahinter mittels eines kurzen Drahtstückes zu einem Faden vereinigen. Dieser kann entweder über eine am vorderen Ende des Bootes befindliche Rolle R_2 oder über eine andere Rolle R_3 am Grundbrett gelegt werden. Im ersteren Falle läuft er weiter durch einen im Grundbrett angebrachten Schlitz. An diesem Faden greifen die die Muskelkraft des Ruderers darstellenden Gewichte P an. Läuft der Faden über R_2, so wirkt P auf die Ruder nicht nur in den Handgriffen nach vorne ziehend, sondern auch über R_2 und den Bootskörper in den Dollen nach rückwärts drückend, dies entspricht demnach dem im Boote sitzenden Ruderer und es muß zur Herstellung des Gleichgewichts

$$P : Q = 2 : 1$$

sein. Wird aber der Faden über R_3 gelegt, so entspricht dies dem auf dem Stege stehenden Ruderer, der Gegendruck der Füße wirkt nicht auf das Boot ein und es ist

$$P : Q = 2 : 3.$$

Die einzelnen Holzteile: Gestell, Boot, Ruder, sind in verschiedenen Farben gehalten, so daß das Modell gute Fernwirkung hat. Zwar wäre in Rücksicht hierauf eine Konstruktion in vertikaler Ebene vorteilhafter gewesen, doch hätte dann das Eigengewicht des Bootskörpers und der Ruder die Kraftverhältnisse übermäßig kompliziert, so daß dem Vorteil auf der einen Seite ein größerer Nachteil auf der anderen gegenüber gestanden hätte.

Kleine Mitteilungen.

Das Metronom mit elektrischer Kontaktvorrichtung.

Von Prof. Dr. A. Wendler in Erlangen.

Zur Messung der Unterschiedsschwelle des Zeitsinnes, die sich nach Meumann[1]) auf kleine Zeiten von 0,3—1,5 sec zu erstrecken hat, bedient man sich eines Zeitsinnaparates, durch den drei aufeinanderfolgende Schläge so hergestellt werden, daß sie 2 nahezu gleiche Zeiten abgrenzen. An Stelle der hierzu dienenden sehr teueren Taktierapparate[2]) empfiehlt Schulze[3]) das mit Kontaktvorrichtung versehene Metronom, bei dem mit jedem Schlag ein Stift rechts und links in ein Quecksilbernäpfchen taucht, wodurch elektrischer Strom zunächst in gleichem Takt ein- und ausgeschaltet wird. Wie nun ein solches Metronom durch mehr oder weniger starkes Neigen als Taktierapparat zu benützen ist, mag man in dem genannten Werke nachlesen. Im folgenden wird ein solches Metronom mit elektrischem Kontakt zu dem einfachen Zweck der Vorführung der verschiedenen Stromarten angegeben. Den mit einem gewöhnlichen Metronom zu verbindenden Kontakt kann man sich selbst herstellen.

Man bringt ziemlich tief unten an der Pendelstange des Metronoms horizontal nach vorn gerichtet ein leichtes starres Stahlstäbchen an, das sich vorn so in zwei Stücke gabelt, daß jedes Gabelende abwechselnd in zwei vor dem Metronom aufgestellte Quecksilbernäpfe A, B tauchen kann, von denen die Drähte I und II auslaufen, während ein dritter Draht III an einem der festen Metallteile des Werkes befestigt ist, so daß Strom von III über die Drahtachse zur Pendelstange und dem genannten Gabelstück fließen kann. Als solches benutzte ich anfangs sorgfältig zurechtgebogenen Eisendraht. Völlig gleichmäßige und sichere Stromimpulse setzen aber völlige Symmetrie der eintauchenden Gabelenden voraus, weswegen ein für den speziellen Zweck hergestelltes aufzuschraubendes Metallstück den Vorzug verdient.

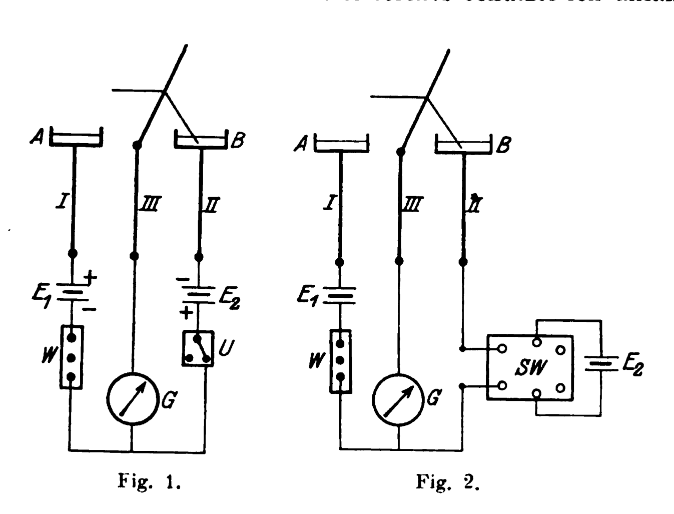


Fig. 1. Fig. 2.

Das Schaltschema zeigt Fig. 1. Hier erhält man im Hauptapparat G bei gleichen Stromquellen „Wechselstrom“ von gleichen positiven und negativen Amplituden, wenn bei W kein Widerstand eingeschaltet ist. Durch Betätigung von W kann man die eine Amplitude abändern. Kehrt man die eine Stromquelle um, so erhält man „abgehackten“ Gleichstrom; schaltet man die rechte Stromquelle ganz aus, so entsteht interrupter Gleichstrom von halber Frequenz. Die Frequenzänderung bei einer dieser Schaltungsweisen kann man dann natürlich weiterhin durch Verschieben des Laufgewichtes auf der Pendelstange bewerkstelligen.

---

[1]) Meumann, Vorlesungen zur Einführung in die experimentelle Pädagogik, Leipzig, Engelmann, 1907.

[2]) Wirth, Psychophysik. Leipzig, Hirzel 1912. S. 435 ff.

[3]) Schulze, Aus der Werkstatt der experimentellen Psychologie und Pädagogik. Voigtländer, Leipzig 1909. S. 73/74.



Die bisher geschilderten Schaltungen lassen sich mit einem einzigen Griff herstellen, wenn man entsprechend der Schaltung in Fig. 2 in den einen Zweig der Leitung einen einfachen Stromwender (SW) legt.

Variiert man noch die Stellung des an der Pendelstange festzuklemmenden Stäbchens, so erreicht man innerhalb bestimmter Grenzen verschiedene Eintauchtiefe der Kontaktgabel und damit bei jedem durch die Laufgewichtstellung vermittelten Taktschlag eine gewisse Abstufung der mit der Eintauchtiefe variierenden Zeitdauer der Stromimpulse. Die maximale Frequenz erreicht man bei abgenommenem Laufgewicht und möglichst nach unten gerücktem Kontaktstäbchen.

Durch Verstellen von Laufgewicht und Gabel erhält man auch dann klare Ablesungen, wenn das Galvanometer G (Zeigergalvanometer) nur träge Einstellung besitzt.

Besteht zwischen der schwingenden Galvanometernadel und den Metronomschlägen vollständiger Synchronismus, so sind die beiden Apparate gewissermaßen aufeinander abgestimmt und diese Resonanz wird gestört, wenn man das Metronomaufgewicht im Sinne der rascheren Bewegung verschiebt.

Die Messung der Dampfwärme als Schülerübung.

Von Prof. Dr. **A. Wendler** in Erlangen.

Die Methode, die Dampfwärme des Wassers durch Einleiten einer gemessenen Dampfmenge in ein ebenfalls bekanntes Wasserquantum zu bestimmen, hat auch als Frontübung allgemein Eingang gefunden. Gute Ausführungsformen des Versuches findet man z. B. in dem Lehrbuch von Grimsehl und dem Hahnschen Handbuch angegeben, hier mit Diskussion der Fehlerquellen und Angabe der zur Erzielung brauchbarer Resultate nötigen Vorsichtsmaßregeln. Hahn schätzt den Genauigkeitsgrad der von ihm als recht schwer bezeichneten Messung zu 3 %. Ich halte dieselbe da, wo genügend Zeit zur Verfügung steht, für sehr empfehlenswert, da sie die Schüler wegen ihrer Subtilität zu besonders sorgfältiger Arbeit zwingt und ein gutes Beispiel dafür ist, daß man die physikalischen Meßresultate nicht immer leichten Kaufes erhält. Wenn man nun aber an die Stelle dieser Methode eine hinsichtlich der Genauigkeit mindestens ebenbürtige setzen kann, die mit noch einfacheren Mitteln und leichter auszuführen ist, so dürfte sie nicht überflüssig erscheinen.

Diese Methode ist nun eine Verbesserung des an sich bekannten einfachen Schätzungsverfahrens, welches darin besteht, daß man die Zeit (a Metronomschläge) bestimmt, die ein kleines Wasserquantum braucht, um im Reagenzrohr zum Sieden zu kommen und darauf die Zeit (b Schläge), die bei gleicher Bunsenflamme zum vollständigen Verdampfen jenes Quantums nötig ist. In roher Annäherung hat man dann, wenn G das Wassergewicht bedeutet,

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{G(100-t)}{G\cdot x} = \frac{a}{b} \text{ oder } x = \frac{b}{a}\cdot(100-t) \text{ cal.}$$

Die Methode, bei der Wägungen in Wegfall kommen, gibt nur eine rohe Schätzung der Größenordnung, hauptsächlich deswegen, weil im zweiten Teil der Messung bei mehr und mehr verschwindendem Wasserinhalt die mit b proportionale Wärmemenge zu einem großen Teil benutzt wird, um die Temperatur des Glases in unkontrollierbarer Weise über 100^0 hinaus zu erhitzen, weiter auch deswegen, weil im ersten Teil der für die Erwärmung des Glases von t^0 auf 100^0 (T^0) in Betracht kommende Wasserwert nicht berücksichtigt ist.

Ich benutze nun an Stelle des Reagenzrohrs einen Erlenmeyerkolben kleinster Dimension, dessen Wasserwert mit $0{,}2\cdot K$ in Rechnung gestellt wird — für alle Wägungen genügt eine kleine Briefwage — und fülle ihn etwa bis zur halben Höhe



mit Wasser (t^0), von dem dann möglichst viel verdampft wird, aber doch wieder nur soviel, daß das restierende Wasser genügt, um eine Temperatursteigerung des Glases über die Siedetemperatur hinaus zu verhüten. Die Form des Kolbens verhindert zugleich ein Überlaufen des Wassers beim ersten Aufwallen. Die Zählung von 0 bis a im ersten Teil ist in dem Augenblick beendet, wo die ganze Wassermasse bis zur Oberfläche hin brodelt, was ziemlich scharf erkannt wird. Die Messung geschieht nun nach folgendem Schema:

Gewicht des Kolbens $= K$ (19,5 g), Gewicht des Kolbens mit Wasser $= K + G$ (78,5 g); somit Wassergewicht $= G$ (59 g);

Anfangstemperatur $= t^0$ (19^0); Siedetemperatur $= T^0$ (99,4^0). Ferner z. B. $a = 81$; $b = 200$.

Gewicht des Kolbens mit Wasser nach dem Versuch $= K + G'$ (55,8 g); Wasserrest $= G'$ (36,3 g); verdampfte Wassermenge $= G - G'$ (22,7 g). Nun ist:

$$W_1 \text{ (prop. mit } a) = r\,a = (G + 0{,}2 \cdot K) \cdot (T - t),$$
$$W_2 \text{ (prop. mit } b) = r\,b = x \cdot (G - G'),$$
$$\text{I.} \quad \frac{(x\,G - G')}{(G + 0{,}2 \cdot K) \cdot (T - t)} = \frac{b}{a}.$$

Für das Zahlenbeispiel erhält man $x = 549$ cal., also einen Fehler von etwa 2%. Die Fehler bleiben bei einiger Sorgfalt unter 3%. Um ein übriges zu tun, wird man die Wägungen genauer mit der zweiarmigen Wage ausführen, die Temperatur auf $^1/_{10}{}^0$ genau bestimmen, die Flamme gegen Windzug schützen usw. Läßt man aber Fehler bis zu 4% zu, so kann man rasch und mit den einfachsten Mitteln arbeiten.

Nimmt man den Wärmeverlust nach Erreichung der Siedetemperatur pro Taktschlag als konstant an $= y$ cal., den Gesamt-Wärmeverlust im zweiten Teil der Messung also $= b \cdot y$, so muß man den Wärmeverlust während des ersten Teils der Messung $= \frac{a\,y}{2}$ setzen und man erhält in Gleichung I auf der rechten Seite statt $\frac{b}{a}$ einen Ausdruck von der Form $\frac{b}{a}\left(1 - \frac{y}{2\,r}\right)$, d. h. für x ein etwas kleineres Resultat, als ohne Berücksichtigung des Wärmeverlustes durch Strahlung. Tatsächlich ist ja auch der oben mitgeteilte Wert 549 etwas zu groß.

Für die Praxis.

Zur Messung kurzer Zeiten mit einfachsten Hilfsmitteln. Von **A. Keller** in Karlsruhe. Zur Abschätzung der Entfernung von feuernden Batterien, von Granateinschlägen und Schrapnellsprengpunkten benutzte ich an der Front ein anderwärts[1]) angegebenes, aber nicht genügend verbreitetes, einfaches Verfahren der Zeitzählung, welches nach ganz kurzer Übung ohne Zuhilfenahme einer Uhr eine ziemlich genaue Abschätzung kleiner Bruchteile einer Sekunde gestattet. Einfachheit und Erfolg der Methode muntern zur Bekanntgabe in der Schule bei ähnlichen Messungen auf.

Bekanntlich ticken die Taschenuhren fast durchweg im Fünftel-Sekunden-Takt. Zählt man die Schläge der Unruhe nach dem Schema **0**, 1, 2, 3, 4, **1**, 1, 2, 3, 4, **2**, 1, 2, 3, 4, **3**, 1, 2 . . . . ., so hat man in den betonten Zahlen die verflossenen ganzen Sekunden, in den andern die verflossenen Fünftelsekunden. Es ist nicht allzu schwer sich das Zeitmaß dieser Zahlen so genau einzuprägen, daß man ohne Uhr fünf Minuten mit einem Fehler von nur ± 1 bis 3 sec anzugeben vermag, was ohne dieses Hilfsmittel natürlich vollkommen ausgeschlossen ist.

[1]) Z. B. Donath, Physikalisches Spielbuch.



Als weiteres Beispiel sei die Messung der Dauer der Explosionsflamme von Flak-Granaten mit Hilfe des „schwingenden Fernrohres“ angeführt. Bewegt man ein Fernglas im Takte der Uhrschläge so, daß sein Objektiv in $^1/_5$ sec einen kreisförmigen Umlauf vollendet, so erscheinen helle Lichtpunkte, z. B. Sterne, in ihm durch die Nachwirkung des Lichtes auf die Netzhaut zu kreisförmigen Linien auseinandergezogen. Die Flamme von Flak-Granaten erhellte dagegen nur etwa $^2/_3$ des Kreisumfanges, so daß sich ihre Dauer zu $^2/_3 \cdot {}^1/_5 = {}^2/_{15}$ sec berechnen ließ.

Dasselbe Hilfsmittel diente mir auch als einfacher Ersatz für den rotierenden Spiegel zum Betrachten der durch Trommelfeuer hervorgerufenen Schwingungen einer Azetylenflamme.

Demselben Verfahren verdankte ich im Winter 1916/17 die interessante Beobachtung eines eigentümlichen, mehrere Wochen anhaltenden, sehr raschen Farbenwechsels des Sirius, der sich dadurch äußerte, daß das Lichtband dieses Sternes aus einzelnen farbigen Teilen bestand, unter denen rote, grüne und blaue Töne vorherrschten. (Vgl. Prometheus, Jahrg. 17.) Daß es sich dabei wohl nicht um eine durch die damals herrschende Kälte hervorgerufene Erscheinung handelte, scheint daraus hervorzugehen, daß sie bei andern Sternen fehlte. Erst im Frühjahr 1918 habe ich etwas Ähnliches bei einem andern Stern (zu dessen Feststellung mir die Hilfsmittel fehlten) erneut wahrgenommen.

Diese Verfahren wollen natürlich nicht mit den erprobten Forschungsmethoden in Wettbewerb treten, können aber bei ihrer bequemen Einfachheit bei manchen Gelegenheitsbeobachtungen wertvolle Dienste leisten.

Ein einfaches Verfahren zur angenäherten Bestimmung der Bunsenflammentemperatur. Von Dr. **B. Reismann** (Hattingen, Ruhr). Die Kenntnis der Temperatur der Bunsenflamme ist für das Verständnis mancher Erscheinungen erforderlich und ihre experimentelle Bestimmung auf einer möglichst niedrigen Unterrichtsstufe (O II) wünschenswert, da man bei einer gelegentlichen Umfrage die verschiedensten Angaben erhalten kann.

Als Temperaturindikator dient ein von obenher senkrecht in die Flamme eingeführter Platin- oder Eisendraht (Blumendraht), als Vergleichsnormale ein längeres Stück des Drahtes, das zwischen zwei Holtzschen Klemmen ausgespannt elektrisch geglüht wird. Den Versuch führt man zweckmäßig im Halbdunkel aus, damit die Gleichheit der Strahlung beider Drähte besser beurteilt werden kann.

Der elektrisch zu glühende Draht von vielleicht 50 cm Länge wird straff ausgespannt, in der Mitte mit einem kleinen Gewicht (5—10 g) belastet und mit 5 bis 8 Ampere unter langsamer Steigerung des Stromes beschickt; dabei sinkt das Gewicht unter Straffhaltung des Drahtes schnell um mehrere Zentimeter, woraus sich ohne weiteres die Ausdehnung und die Temperatur ergibt. Vor Ausführung des eigentlichen Meßversuches soll der Draht zur Entfernung von Knickstellen einige Male stoßweise belastet werden.

Mehrere Versuche ergaben (unter Zugrundelegung des Ausdehnungskoeffizienten für den Bereich 0^0—100^0) Temperaturen von 900^0—1150^0.

Es ist wohl selbstverständlich, daß die Schüler darauf hingewiesen werden, daß das Resultat wegen der Veränderlichkeit des Ausdehnungskoeffizienten mit der Temperatur selbst nur der Größenordnung nach richtig sein kann. Immerhin ist der Versuch in mancher Hinsicht lehrreich, als Anwendung des Ausdehnungsgesetzes, als Illustration für die optische Pyrometrie und durch sein Endergebnis.



Zur Phosphoreszenz. Von **H. Rebenstorff.** In der Physik des Krieges bildet auch die Anwendung der Phosphoreszenz ein kleines Kapitel. Die gläsernen Hohlkugeln, mit denen man sehr grobmaschige Drahtnetze als Sperrmittel gegen U-Boote schwimmend machte, wurden mit Leuchtsubstanzen versehen, damit das unter dem Wasser in die Maschen geratene Fahrzeug durch den verfolgenden Gegner nachts im Auge behalten werden konnte. Anstriche mit Leuchtfarbe wurden zu Zwecken benutzt, die erst nach dem Kriege näher bekannt werden dürften. Nach Bericht eines Mitkämpfers bezeichneten Franzosen schon in den ersten Kriegsmonaten Wegrichtungen in dichten Vogesenwäldern durch nachts leuchtende Anstriche an den Baumstämmen, die dann auch den Patrouillen der Unsrigen die Wege erleichterten. Da aber bekanntlich phosphoreszierende Stoffe nicht ohne Verlust der stärksten Leuchtwirkung mit den gebräuchlichen Mitteln (Lacklösungen) aufzutragen sind, und die wirkungsvolle Verwendung von Gelatinelösung durch Regen verdorben wird, so waren jene Baumanstriche vielleicht mit öligen Verreibungen aus gelbem Phosphor hergestellt, die wenigstens in warmer Luft gute Dienste leisten würden. Größere Anstriche auf Tafeln, die durch Zelluloid- und Cellonplatten gegen Regen geschützt waren und das Zurechtfinden im Wirrsal der Gräben nachts erleichtern sollten, fielen reichlich teuer aus.

Für die Befestigung phosphoreszierender Stoffe, auch zu im Unterricht verwendbaren Tafeln, die weniger leicht zerstörbar sind, kann man Hartparaffin benutzen. Man hält die Pappe- oder dicke Blechtafel hoch über eine Flamme und schmilzt eine Paraffinschicht darauf. In die noch flüssige Bedeckung streut man, bequem aus einem mit Tüll überbundenem kleinsten Becherglas den pulverigen Leuchtphosphor, der so wenig durch dieses Mittel an Helligkeit einbüßt wie durch Gelatinelösung. Die Selbstherstellung eines Phosphors gelingt ohne weitere chemische Reinigung auch mit den nach Angabe von Harry Schmidt (ds. Zeitschr. 28, 38) von Merck bezogenen reinen Chemikalien nicht sehr wirkungsvoll. Gute Phosphore konnten wenigstens vor einiger Zeit von der Firma Schuchardt-Görlitz bezogen werden. Fertige Anstriche, die mit Emaille befestigt sind, lieferte Leppin und Masche, Berlin SO, Engelufer 17.

An den auch in Schülerkreisen gegenwärtig so verbreiteten Radiumuhren und -kompassen können einige bemerkenswerte weitere Beobachtungen gemacht werden. Hält man das Zifferblatt im dunklen Zimmer in einen direkten oder durch Heliostaten hineingeführten Sonnenstrahl, so erglänzen gleich nach Herausnehmen ins Dunkle die Leuchtflecke in bisweilen überraschend hellem Lichte. Nach Mitteilung eines Schülers kann man ferner im Dunkeln mit einer Lupe das Eigenartige des Szintillierens an den mit einer Spur Radium versehenen Leuchtflecken kennen lernen. Auch der mit einem Spinthariskop nach Abschrauben der Linse ausführbare Versuch[1]) des Entladens eines Elektroskopes durch Radiumstrahlung (eigentlich durch mit der Strahlung geschwängerte Luft) gelingt mit einer guten Radiumuhr. Man hebt den Deckel des Zifferblattes empor und bringt dies nahe der Kugel des Elektroskopes. Seine Blättchen fallen langsam zusammen. Natürlich muß es gute Isolation besitzen (Paraffin, Experimentierbuch I, 204). Prüft man in dieser Weise verschiedene Uhren, so sind freilich die Unterschiede in der Zeitdauer des Entladens recht bedeutend. Auch eine ziemlich kostbare Uhr wirkte aber noch erheblich langsamer als ein Spinthariskop.

[1]) Rebenstorff, Experimentierbuch, II, 159.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Aus der Optik. 1. Die Strahlungseigenschaften einiger Lichtquellen untersuchte F. Conrad mit Hilfe objektiver Photometrie[1]. Er ging dabei aus von dem Begriff der photometrischen Ökonomie

$$P = \frac{\text{Flächenhelligkeit}}{\text{Gesamtstrahlung}} = \frac{\int_{\lambda\,\text{viol}}^{\lambda\,\text{rot}} \varepsilon_\lambda S_\lambda\, d\lambda}{\int_0^\infty S_\lambda\, d\lambda}$$

nach der Definition von Lummer und Cohn. P gibt an, welcher Bruchteil der Gesamtenergie in Licht umgesetzt wird; es ist stets < 1 und könnte diesen Wert nur erreichen, wenn die gesamte Energie in Form gelb-grüner Strahlung der Wellenlänge 550 $\mu\mu$ ausgesandt wird. In den Integralen bedeutet $S_\lambda d\lambda$ die Strahlungsintensität für die Wellenlänge λ und $\lambda + d\lambda$, ε_λ die relative Empfindlichkeit der Netzhautzapfen. Der Nenner, die Gesamtstrahlung, kann direkt mit der Thermosäule gemessen werden; zur Bestimmung des Zählers muß man die unsichtbaren Strahlen vollkommen abblenden und die sichtbaren im Verhältnis der Zapfenempfindlichkeit für jedes λ schwächen. Zu diesem Zwecke wendet man ein dem Auge nachgebildetes Filter an, das sämtliche ultraroten und ultravioletten Strahlen absorbiert und die einzelnen farbigen Strahlensorten proportional der Zapfenempfindlichkeit durchläßt. Als ein solches Filter benutzte Conrad Lösungen von $CuCl_2$, $K_2Cr_2O_7$ und JK, die sich in bestimmten Verhältnissen in drei Abteilen eines parallelepipedischen Glasgefäßes befanden. Mit Hilfe dieses Filters wurde die photometrische Ökonomie einzelner Lichtquellen ermittelt, deren Strahlung mit einer Thermosäule gemessen war. Ein Vergleich zwischen berechneter und beobachteter photometrischer Ökonomie beim schwarzen Körper ergab gute Übereinstimmung. Man kann den Zähler des Ausdrucks für P auch optisch ($= H_0$) in Hefnerkerzen messen; dann wird $P = \frac{H_0}{S \cdot L}$, wo $\frac{1}{L}$ ein Umrechnungsfaktor ist, dessen reziproker Wert

$$L = \frac{H_0}{P \cdot S}$$

das „mechanische Lichtäquivalent" bedeutet, eine Größe, deren Wert von der Empfindlichkeit der Netzhautzapfen für die einzelnen Spektralbezirke abhängt. Conrad bestimmte L für den schwarzen Körper zu 62,5, für Platin zu 67,2 HK/cm². Bei Kenntnis von L und P kann man aus der mittleren räumlichen Lichtstärke die Gesamtstrahlung, aus dieser dann wieder die erstere bestimmen. Als Beispiel berechnete der Verf. die Lichtstärke der Sonne und schloß aus dem Wert ihrer photometrischen Ökonomie auf die schwarze (6750°) bzw. Platintemperatur (5900°) der Sonne. Die unter der Voraussetzung, daß sie grau strahlen, berechnete photometrische Ökonomie der Glühlampen wurde in guter Übereinstimmung mit der Beobachtung gefunden. Das als „Umsetzungsfaktor" bezeichnete Verhältnis zwischen ausgestrahlter und zugeführter Energie war bei Glühlampen konstant. Eine besonders hohe photometrische Ökonomie hat der Quecksilberbogen; ein sehr großer Teil seiner Energie liegt daher im sichtbaren Spektralgebiet. Bei der Bogenlampe war die photometrische Ökonomie des Bogens allein viel größer bei Effekt- als bei Homogenkohlen; für den positiven Krater wurde der Wert von P gefunden, den die Berechnung bei Annahme grauer Strahlung ergibt.

2. Zur Kenntnis der Triboluminessenz. Von A. Imhof[1]. Der Verf. fand, daß es für jede Substanz eine spezifische kleinste Kristallgröße gibt, bei welcher sie noch triboluminesziert. Zur Untersuchung wurde das aus der Substanz hergestellte Pulver in einer kleinen, weithalsigen Glasflasche mit einer abgestumpften Elfenbeinspitze zerrieben. Das „Minimalkorn" ist um so kleiner, je größer die Lumineszenzhelligkeit, und liegt zwischen 0,002 und 4 mm Durchmesser (z B. bei Zinksulfid 0,001—0,003, Quarz 0,06—0,13, Zucker 0,14—0,22, Kupfervitriol und Flußspat 0,7—1,2, Zinkammoniumsulfat 3,5 bis 4,0 mm). Die Triboluminineszenzintensität hängt von der Temperatur ab, und zwar ist die Helligkeit bei höherer Temperatur geringer als bei tiefer; bei einer gewissen tiefen Temperatur aber nahm sie wieder ab. Flußspat verliert die Triboluminineszenzfähigkeit bei 150°, gewinnt sie aber beim Abkühlen wieder. Bei Zinksulfid ließ sich der Temperatureinfluß in einer Kurve darstellen. Auch die Farbe, mit der die Substanz triboluminesziert, ändert sich mit der Temperatur. So leuchtet Quarz bei — 20° gelb, bei — 80° blau, Zinksulfid je nach der Temperatur orange oder blaugrün. Bei phosphoreszierenden Substanzen war die Triboluminineszenz kaum geschwächt vorhanden, wenn die Phosphoreszenz durch Erwärmung fast verschwunden war. Der Verf. hat 87 anorganische Stoffe geprüft und davon 25 Proz. tribolumineszierend gefunden. Fast alle anorganischen Doppelsalze, die Sulfate von Kalium, Ammonium oder eines anderen Metalls sind, tribolumineszieren,

[1]) *Ann. d. Physik* **54**, *357, 1917.*

[1]) *Phys. Zeitschr.* **18**, *78, 374, 1917.*

alle, die Chloride der genannten Metalle sind, tribolumineszieren nicht. Im allgemeinen verhalten sich chemisch nahe verwandte Salze in bezug auf ihre Tribolumineszenz gleich; es ließen sich derartige Gruppen zusammenstellen. Elemente tribolumineszieren wahrscheinlich nicht Salze von gleicher chemischer Zusammensetzung, aber verschiedenem Kristallwassergehalt sind hinsichtlich der Tribolumineszenz als durchaus verschiedene Substanzen zu betrachten. Am häufigsten ist das höchste Hydrat tribolumineszent. Die Tribolumineszenz zeigt sich auch bei einer kleinen Zahl amorpher Substanzen, bei denen es sich aber zum Teil vielleicht um ein Glühen kleiner Teilchen handelt. Eine Untersuchung der Tribolumineszenzfarben bei 88 Substanzen ergab 47% blau, bei 25% gelb oder orange, seltener violett, sehr selten rot oder weiß. Die durchschnittliche Lichtstärke war am größten im Gelb, am kleinsten im Violett.

Eine Untersuchung des Wesens der Tribolumineszenz führte zu der Beobachtung, daß die Erscheinung nur bei einem disruptiven Bruch auftritt. Die in einen Schraubstock gespannte Substanz (Kandiszucker) leuchtete nur, wenn man gleichzeitig ein Knacken hörte. Durch den Schlag wird die Substanz elastisch deformiert: bei der plötzlichen Entlastung durch Bruch geraten einzelne Teile in heftige durch innere Reibung rasch gedämpfte Erschütterungen. Nach der Ansicht des Verf. findet schon bei dem Übergang der Substanz in die feste Formart (Kristallisation) die Erregung in einem Zustande A höherer Energie statt. Diese nicht lichtelektrische Erregung besteht darin, daß Metallatome oder organische Atomgruppen Elektronen entweichen lassen die von benachbarten Metalloidatomen gebunden werden. Durch die beim Brechen eintretenden Erschütterungen wird ein plötzlicher Rücktritt vieler Elektronen zu den Ausgangsatomen bewirkt. Indem diese Schwingungen isochroner Emissionselektronen erzwingen, wird das mit Tribolumineszenz bezeichnete Leuchten erzeugt. Die Substanz im Zustand A geht dadurch in einen energieärmeren Zustand B über.

3. Spiegelung an Flächen mit negativer Krümmung. Von P. SELÉNYI[1]). Beobachtungen an einem blank polierten Serviettenring machten den Verf. auf die interessanten Eigenschaften eines Spiegels mit negativem Krümmungsmaß $\left(\frac{1}{\varrho_1 \cdot \varrho_2}\right)$ aufmerksam. Ein solcher Spiegel hat eine konvexe und eine senkrecht dazu stehende konkave Krümmung; die theoretische Betrachtung ergibt, daß von einem solchen Spiegel ein rechtsgängiges Koordinatensystem auch wieder rechtsgängig abgebildet wird, während andere Spiegel es in ein linksgängiges verwandeln. Ganz allgemein sind die Bilder eines Spiegels mit negativem Krümmungsmaß spiegelsymmetrisch, solange der Gegenstand zwischen den reellen und virtuellen Brennpunkten liegt; liegt er außerhalb dieser Strecke, so ist das Bild gleichsinnig mit dem Objekt. Der Verf. machte seine Beobachtungen an einem aus Eisen gedrehten, polierten und vernickelten, von M. Kohl hergestellten Spiegel. Die Wirkung des eigenen Spiegelbildes ist recht überraschend. Die rechte Hand erscheint im Spiegel auch als rechte (nicht als linke) Hand, eine Schrift wird in diesem Spiegel nicht zur „Spiegelschrift", sondern kann richtig gelesen werden. Dreht man einen Gegenstand um die Verbindungslinie Auge — Spiegel herum, so dreht sich das Bild mit gleichgroßer Geschwindigkeit, aber in entgegengesetzter Richtung; dreht man dagegen den Spiegel um jene Achse herum, so dreht sich das Bild im gleichen Sinne, aber mit doppelter Geschwindigkeit.

Über den Sehraum. Von H. WITTE[1]). Wenn sich ein Gegenstand von uns entfernt, so verkleinert sich mit dem Sehwinkel φ das Bild auf der Netzhaut. Ist L die Größe des Gegenstandes senkrecht zur Sehrichtung, R der Abstand vom Auge, so stellt näherungsweise

$$\varphi = L/R$$

die scheinbare Größe des Gegenstandes dar. In unserm Bewußtsein tritt aber eine solche Verkleinerung zunächst nicht ein, indem wir unwillkürlich die wachsende Entfernung mit einrechnen und den Sehwinkel unbewußt mit der Entfernung R vervielfachen („Sehwinkelaufhebungssatz"). Da aber einige Beobachtungen — wie die scheinbare Konvergenz paraleller, die Drehung senkrecht zur Fahrtrichtung verlaufender Linien — gegen jene Auffassung sprechen, so nahm man an, daß der Sehwinkelaufhebungssatz zwar besteht, aber die Entfernung R falsch geschätzt werde. Man schätze sie eben nur auf r, und die scheinbare Größe l eines Gegenstandes L sei $l = \frac{R}{r} \cdot L$. Die Größe r suchte v. Sterneck durch Messungen im Gelände zu bestimmen. Er fand, daß die Zunahme von r mit der wirklichen Entfernung R nur bis zu einem gewissen Grenzwerte $r_{max} = \varrho$ gehe, jenseits dessen eine vergrößerte Entfernung R und eine Verkleinerung des Gegenstandes nicht mehr empfunden werde. Der Verf. berechnete nach einer von v. Sterneck aufgestellten Formel die Beziehungen zwischen R und r. Danach wird z. B. ein sich entfernender Mensch in 1 km Abstand noch in fast voller Größe gesehen; bei 10 km

[1]) *Phys. Zeitschr.* **19**, 105, 1918.

[1]) *Phys. Zeitschr.* **19**, 142, 1918.

erscheint er etwa halb so groß, bei noch größerer Entfernung nähert sich die scheinbare Entfernung r dem Grenzwert 10 km. Diesen Radius hat dann also der von unserm Bewußtsein erfaßte „Sehraum“. In diesem Sehraum ist der Wolkenhimmel eine Kuppel von 20 km Durchmesser und 2 km Höhe. Die scheinbare Größe des Mondes am Horizont läßt sich allerdings — wenn man das große R in Rechnung bringt — mit diesem Sehraum nicht vereinigen; der Mond müßte dann noch weit größer erscheinen. Der Verf. kommt daher zu dem Schlusse, daß wir auch noch eine zweite Art des Sehens ferner Gegenstände haben, bei der wir deren Größe — unter geringer Größenbewertung der Ferne — nach dem physikalischen Sehwinkel selbst bewerten. In diesem zweiten Sehraum glauben wir den Mond und die Gestirne zu erblicken.

Schk.

Wismutwasserstoff. Von F. Paneth. Der herkömmliche Lehrbuchsatz, daß Wismut, gemäß seinem stärker metallischen Charakter, nicht mehr eine dem Arsen- und Antimon-Wasserstoff entsprechende Wasserstoff-Verbindung zu bilden vermag, ist nach den vorliegenden Untersuchungen hinfällig geworden. Anknüpfend an das Vorhandensein bestimmter Bismutide wie K_3Bi, Na_3Bi, Mg_3Bi_2 fahndete F. Paneth von neuem nach Wismutwasserstoff, und zwar zunächst ausgehend von den radioaktiven Wismutarten Radium C und E, Thorium C, Aktinium C[1]) — hierbei konnte auch Poloniumwasserstoff in kleinen Mengen nachgewiesen werden —, dann auch, in Gemeinschaft mit E. Winternitz, ausgehend von gewöhnlichem Wismut[1]). Die vielseitigen Versuche, die wir hier nur in aller Kürze wiedergeben können, führten zu einem sicheren Erfolge. Ein Gemenge von 4 g Mg- und 4 g Bi-Pulver wurde unter Zutritt von Wasserstoff im eisernen Tiegel geglüht, das Produkt mit 4 n-Salzsäure oder ebenso starker Schwefelsäure zersetzt und der Nachweis von BiH_3 zunächst nach Art der Marsh'schen Arsenprobe festgestellt. Der aus dem Gase sich absetzende Wismutspiegel ähnelt dem Antimonspiegel, läßt sich aber von diesem und dem Arsenspiegel durch folgende Reaktionen unterscheiden: Natriumhypochlorit, frisch hergestellt durch Übersättigen von Chlorkalk mit Natriumkarbonat, löst Arsen und läßt Antimon und Wismut unverändert; gelbes Schwefelammonium löst Antimon rasch, Arsen etwas langsamer und bewirkt im Gegensatz dazu bei Wismut durch Verwandlung in das unlösliche Sulfid ein noch kräftigeres Hervortreten des Spiegels. Über den Nachweis des Wismutwasserstoffes mittels interessanter Leuchtreaktionen, über einen Vorlesungsversuch mit leuchtendem radioaktivem Wismutwasserstoff, sowie über die Bestimmung der auffallend hohen Gasdichte — beim Wismutwasserstoff 211 bis 217, beim Poloniumwasserstoff 213, bezogen auf $O_2 = 32$ — und alles weitere sind die Originalabhandlungen einzusehen.

O.

[1]) Ber. d. Deutsch. Chem. Gesellsch. 51, Nr. 15 u. 16, S. 1704—1728, 1918.

[1]) Ebenda S. 1728—1743.

5. *Technik und mechanische Praxis.*

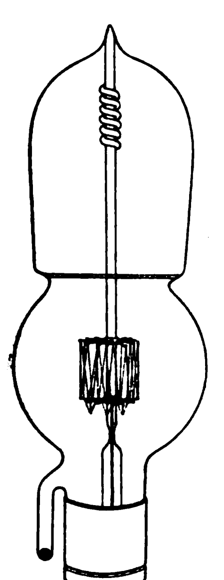


Fig. 1.

Liebenröhre und Audion. Vakuumröhren (Ionenventile) werden in der Technik der Telephonie und der drahtlosen Telegraphie seit neuerer Zeit immer mehr verwendet, und zwar:

1. Als Verstärker (Telephonrelais) zur Umformung eines veränderlichen Stromes in einen anderen, der sich nach demselben Gesetz, aber mit größerer Amplitude ändert: Liebenröhre (Robert v. Lieben, Eugen Reiss, Siegmund Strauss, 1910); vgl. Fig. 1;

2. Als Empfänger (Detektor), indem sie die oszillatorischen Ströme in gleichgerichtete umformen, ähnlich wie ein Kristalldetektor: Audion (de Forest, 1910)[1]);

3. Als Erreger (Generator, Schwingungserzeuger), indem sie Gleichströme in oszillatorische Ströme umformen: Ultraudion (de Forest).

Vakuumröhren stellen gegenwärtig wohl die vollkommenste Gruppe von Empfangsgeräten dar; aber auch als Sendegeräte finden sie immer ausgedehntere Verwendung, seit die technischen Schwierigkeiten für größere Leistungen nach und nach beseitigt worden sind[2]).

Alle jetzt in dieser Weise verwendeten Vakuumröhren enthalten drei Elektroden (Fig. 2):

1. Eine Kathode K, die durch eine besondere Batterie zum Glühen gebracht wird; ihren

[1]) Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie (zitiert als J. B.) 3, 429 (1910).

[2]) G. Vallauri, Über die Wirkungsweise der in der drahtlosen Telegraphie benutzten Vakuumröhren mit drei Elektroden (Audion) J. B. 12, 349 (1917).

Grundtypus finden wir in der Wehneltkathode (Oxydkathode) vorgebildet. Jetzt besteht sie gewöhnlich aus einem Wolframdraht, der oft in derselben Form verwendet wird, wie der Glühfaden einer Metallfadenlampe;

2. Eine kalte Anode *A*, die durch ein ebenes oder zylindrisches Blech oder eine Platte gebildet wird;

3. Eine Hilfselektrode *R*, die zwischen *A* und *K* eingeschaltet ist und die Form eines Gitters oder eines Rostes aufweist (Regelungselektrode).

Fig. 2.

Die angewendeten Schaltungen sind außerordentlich mannigfaltig; sie lassen sich aber auf eine Grundform zurückführen. In dieser kommen drei Stromkreise zur Verwendung[1]) (Fig. 3):

1. Der Anodenkreis, enthaltend die Gasstrecke zwischen Anode und Kathode, die An-

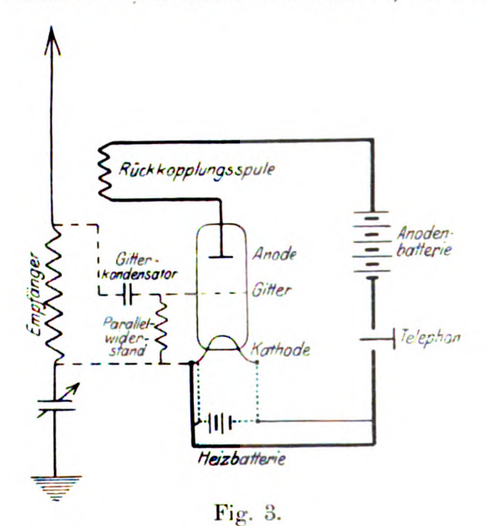


Fig. 3.

odenbatterie, sowie das Telephon im verstärkten Stromkreis der Verstärkerröhre und beim Audion, sowie Spule und Kondensator bei der Senderöhre;

2. Der Gitterkreis, enthaltend die Gasstrecke zwischen Gitter und Kathode, den unverstärkten Stromkreis der Verstärkerröhre, den Anschluß mit Gitterkondensator und Parallelwiderstand zum Empfänger beim Audion und die Koppelung (induktiv oder kapazitativ) mit dem Anodenkreis bei der Senderöhre;

3. Der Brennerkreis (Glühkreis) zum Heizen der Glühkathode, enthaltend den Glühfaden (*K*) sowie die Heizbatterie mit Vorschaltwiderstand.

An dem einen Ende des Glühdrahtes treffen die drei Kreise zusammen.

Eine Erklärung für die Wirkung der Liebenröhre, die aber auch die Vorgänge im Audion verständlich machen kann, gaben auf Grund der Ionentheorie der Gasentladung R. Lindemann und E. Hupka[1]). Danach wirkt die Röhre zwischen *K* und *R* als Wehnelt-(Ventil)röhre, zwischen *R* und *A* als gewöhnliches Glimmlichtentladungsrohr. Zwischen *K* und *R* wird demnach der im Gitterkreis ankommende Wechselstrom gleichgerichtet durch die Verschiedenheit der Leitfähigkeit in den beiden Richtungen von der heißen zur kalten Elektrode und umgekehrt (Ventilwirkung); die Aussendung von Elektronen erfolgt von der heißen Kathode leichter, d. h. bei niedrigerer Spannung, als von der kalten Kathode, da sich an dieser ein hoher Kathodenfall ausbildet, so daß der Strom erst fließen kann, wenn die Spannung größer als dieser Kathodenfall ist. Allerdings kann der Strom auch in der durchlässigen Richtung erst eine nennenswerte Stärke erreichen, wenn Stoßionisation eintritt. Es genügt ein Spannungsabfall von etwa 12 Volt, um den von der heißen Kathode ausgehenden Elektronen die zur Stoßionisation nötige Energie zu erteilen. Zwischen *R* und *A* hat man zunächst einfache Glimmlichtentladung zu denken mit einem starken Kathodenfall an *R* nach *A* zu. Als Charakteristikum der Entladung in der Liebenröhre ist die Veränderung des Kathodenfalles am Siebe durch die von unten durch das Sieb eintretenden Ionen und Elektronen zu betrachten. Fig. 4 zeigt den Zusammenhang zwischen der Stromstärke im Gitterkreis *i* und der Stromstärke im Anodenkreis *I*. Bei kleinem *i* herrscht zunächst im unteren Raum unselbständige Entladung; es treten nur sehr wenig Ionen durch das Sieb nach oben, der Kathodenfall am Sieb wird nicht merklich verringert. Nimmt *i* allmählich zu, so erfolgt bei einer gewissen Stromstärke plötzlich Stoßionisation im unteren Teile der Röhre,

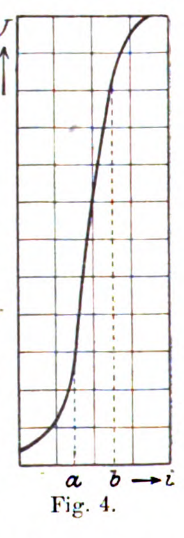


Fig. 4.

[1]) Eichhorn, J. B. 12, 399 (1917); dieser Stelle ist auch Fig. 3 entnommen.

[1]) R. Lindemann und E. Hupka, Die Liebenröhre; J. B. 12, 218 (1917).



Die große Zahl der durch das Sieb tretenden Ionen bedingt eine plötzliche starke Verminderung des Kathodenfalles an *R*. Dadurch steigt *I* stark an. Bei weiterer Vergrößerung des Stromes *i* wächst die Zahl der durch das Sieb nach oben tretenden Ionen wesentlich langsamer, als zu Beginn der Stoßionisation; infolgedessen nimmt dann *I* nur noch langsam zu. Somit folgt *I* den Schwankungen von *i*, erreicht aber eine viel höhere Amplitude. Die Röhre wirkt also als ein Relais mit geringer Trägheit. Bei sehr schnellen Vorgängen wird die Trägheit allerdings merklich, da dann an Stelle der statischen Charakteristik (Fig. 4) die dynamische, wie beim Wechselstromlichtbogen, zugrunde zu legen ist. Fig. 4 zeigt, daß in dem Gebiet, wo *I* steil ansteigt, ein Optimum der Verstärkerwirkung liegt.

So ist auch die Detektorwirkung erklärbar. Der eben geschilderte Vorgang spielt sich bei jedem Wellenzug der ankommenden gedämpften Schwingungen ab. Dabei wird das Gitter und der in Fig. 3 sichtbare Gitterkondensator aufgeladen und bis zum nächsten ankommenden Wellenzug wieder entladen. Jeder Wellenzug wird dadurch für das Empfangstelephon zu einem einzigen Stromstoß zusammengefaßt. Außer der Gleichrichterwirkung kommt auch die Verstärkerwirkung zur Geltung. Wenn die einzelnen Wellenzüge rasch aufeinanderfolgen, wenn sie also z. B. von einem Tonsender ausgehen, so entsteht im Telephon durch rhythmische Änderung der Anodenstromstärke ein musikalischer Ton, dessen Schwingungszahl durch die Zahl der Wellenzüge bestimmt ist[1]). Bei der Erklärung der Detektorwirkung wird auch verschiedentlich von der Abhängigkeit der Plattenstromstärke vom Gitterpotential ausgegangen[1]); Armstrong gibt dazu einige anschauliche graphische Darstellungen[2]).

Die Verwendungsweise des Audions als Generator ist nicht ganz so einfach zu übersehen. Armstrong[2]) bemerkt dazu: Jeder Übertrager, der zugleich ein Energieverstärker ist, kann benutzt werden, um durch Rückübertragung eines Teiles der Energie in dem Kreise, der die Batterie enthält, auf den Kontroll-(Gitter-) Kreis kontinuierliche Schwingungen zu erzeugen und den letzten Kreis dauernd erregt zu halten. Sorgt man für genügend enge Koppelung zwischen dem Gitterkreis und dem Anodenkreis, so wird dem Gitterkreise genügend Energie zugeführt um ihn dauernd in Schwingungen zu erhalten. — Zur Herbeiführung dieser Koppelung dient die Rückkoppelungsspule der Fig. 3; der Gitterkreis enthält dann ebenfalls eine Spule, die mit jener die Koppelung bewirkt.

Bei der Ultraudionschaltung wird der Gitterkreis nicht an die Glühkathode, sondern an die kalte Anode *A* angelegt; auf diese Weise werden im Empfänger örtliche Schwingungen erregt[1]). Diese läßt man mit den ankommenden Schwingungen der Senderstation interferieren, indem man die beiden Schwingungszahlen ein wenig verschieden wählt. Die so entstehenden Schwebungen sind so langsam, daß man sie mit dem Telephon empfangen kann, während das Telephon auf die ursprünglich ankommenden raschen Schwingungen nicht anspricht. So kann man auch für ungedämpfte Wellen Tonempfang ermöglichen (Schwebungs-, Heterodynmethode).

Auf Einzelheiten der verschiedenen schon sehr zahlreichen Anordnungen, Schaltungsweisen und Röhrenformen einzugehen, ist hier nicht möglich. Das ganze Gebiet ist noch durchaus im Werden; die Entwickelung liegt vorläufig stark in den Händen der Technik und aus militärischen Gründen werden Einzelheiten der Konstruktion streng geheim gehalten. Spielt doch die Ventilröhre nicht nur in der drahtlosen und telephonischen Nachrichtenübermittelung, sondern besonders auch beim Abfangen feindlicher Telephongespräche als Relais für die sehr schwachen Erdströme eine bedeutende Rolle. Für die forschende Physik liegt bei der Fülle der Fragen, die noch zu erledigen sind und bei der großen Anzahl von Variablen ein schwieriges aber auch aussichtsvolles Gebiet zur Bearbeitung vor.

Den ersten Versuch einer Theorie des Audions gibt Vallauri[2]); eingehende experimentelle Untersuchungen zur Bestätigung seiner Theorie veröffentlicht derselbe Verfasser an anderer Stelle[3]).

Eine große Anzahl von Einzelheiten über Konstruktionsformen und Schaltungsweisen findet man in der Patentschau der einzelnen Hefte J. B. 12 (1917). *Dr. Erich Günther, Dresden.*

[1]) Ralph Bown, Innere Beziehungen in drahtlosen Empfängern vom Audiontyp; J. B. 13, 142 (1918).

[2]) Armstrong, Einige neuere Verbesserungen am Audionempfänger; J. B. 12, 241 (1917).

[1]) L. W. Austin, Quantitative Versuche mit dem Audion; J. B. 12, 284 (1917).

[2]) J. B. 12, 349 (1917).

[3]) G. Vallauri, Vergleichende Untersuchungen über die Arten des Audions; J. B. 13, 25 (1918).

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Raum, Zeit, Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie von H. Weyl. Berlin, Julius Springer 1918. 230 S. M. 14,—.

Im Vorwort dieses aus Vorlesungen in Zürich entstandenen Buches erklärt der Verfasser, er habe ein Beispiel für die gegenseitige Durchdringung mathematischen, philosophischen und physikalischen Denkens geben wollen. Allerdings habe der Mathematiker wohl auf Kosten des Philosophen das Übergewicht behalten. Referent würde eher sagen, daß der Physiker stark in den Hintergrund träte, allein auch das soll kein Tadel sein. Vielmehr muß gesagt werden, daß dem Verfasser seine Absicht in geradezu vorbildlicher Weise gelungen ist. Seine Darstellung dringt nicht nur in die tiefsten Tiefen der mathematischen Grundlagen vor, sondern gibt auch fortwährend die weitesten philosophischen Ausblicke, so daß man den letzten Sinn der „allgemeinen Relativitätstheorie", dieser größten modernen Tat spekulativen Denkens, geradezu mit Händen greifen zu können glaubt. Das Buch sei deshalb allen Lehrern und Studierenden der Mathematik und Physik angelegentlichst empfohlen. Vorkenntnisse werden nur wenig vorausgesetzt; einige Gewöhnung an die Sprache der gewöhnlichen Vektorrechnung, an die Grundbegriffe der Invariantentheorie, der nichteuklidischen Geometrie und die Grundlagen der Flächentheorie muß allerdings wohl vorhanden sein. Im übrigen aber entwickelt Weyl in vortrefflicher Klarheit und Leichtverständlichkeit das ganze mathemathische Rüstzeug, den Tensorkalkül und die Riemannsche Geometrie, selber; dazu gibt er auch die hergehörigen Grundlagen der theoretischen Physik (Maxwells Theorie, spezielle Relativitätstheorie) in der Sprache der neuen Symbolik in gedrängter Kürze. Der Inhalt gliedert sich in vier Kapitel. Im ersten wird im Anschluß an einen kurzen Überblick über die „affine Geometrie" zunächst der Tensorkalkül entwickelt, darauf eine kurze Darstellung der Maxwellschen Theorie gegeben. Im zweiten wird die Riemannsche Geometrie ausführlich entwickelt, wobei vom Anfang an der Gedanke an die Erfüllung des von Riemann Angebahnten durch Einstein die ganze Darstellung beherrscht. Die nähere Ausführung der Riemannschen Theorie bildet den schwierigsten Teil des Buches, denn es ist tatsächlich ein „Holzstoß von Formeln", der errichtet werden muß. Doch lohnt sich die Mühe reichlich. Das dritte Kapitel bringt die spezielle Relativitätstheorie, d. h. die ursprünglichen Einstein-Minkowskischen Gedanken, die relativistische Kinematik, Optik und Elektrodynamik, sowie eine glänzende Darstellung des Problems der Materie an Hand der Mieschen Theorie. Besonders hier sind die philosophischen Ausblicke höchst bemerkenswert. Die Krönung des Ganzen bildet endlich das vierte Kapitel, welches die neue „allgemeine Relativitätstheorie", d. i. den schon von Riemann geahnten Gedanken entwickelt, daß die Bestimmung der in einem Teil der Welt gültigen Kinematik (bzw. Geometrie) durch physikalische Kräfte, nämlich die Gravitation, gegeben sei. Den Abschluß bilden wiederum philosophisch sehr interessante „Betrachtungen über die Welt als Ganzes", in denen u. a. auch die bekannte Folgerung des neuen Weltbildes zur Sprache kommt, daß die Welt möglicherweise räumlich-zeitlich geschlossen, in sich selbst zurücklaufend sei. Mit der zum Schluß geäußerten Meinung, daß die Physik nur das Formale der Wirklichkeit erfasse, wie es die Logik hinsichtlich der formalen Beschaffenheit der Wahrheit tue, kann Ref. sich nicht ganz einverstanden erklären. Doch muß die Begründung des Widerspruches hier unterbleiben. Einen Teil der gegen Weyls m. E. allzu formalistische Auffassung des Ganzen geltend zu machenden Einwände findet man in der nachstehend angezeigten Schrift:

Über Relativitätsprinzip, Äther, Gravitation. Sonderabdruck aus dem Jahrbuch für Radioaktivität und Elektronik. Von Ph. Lenard. Leipzig, Hirzel 1918 20 S.

Der Verfasser, der mit Gehrcke u. a. der Relativtheorie noch skeptisch gegenübersteht, will hier darlegen, daß neben der rein formalistischen von Kirchhoff, Mach, Drude u. a. vertretenen Physik doch auch die realistische Richtung berechtigt sei, die in der Konstruktion „mechanischer Modelle", der Hypothese „verborgener Bewegungen" usw. die Erklärung der Erscheinungen sucht und doch auch, wie z. B. die Geschichte der Atomistik zeigt, sehr oft solche gefunden hat. Er redet daher der Beibehaltung der Ätherhypothese das Wort, findet auch Einsteins „Raum" (bzw. „metrisches Feld") gar nicht so sehr verschieden von dem Äther und meint, daß zwar das spezielle Relativitätsprinzip recht gut durch die Erfahrung gestützt sei, daß dies jedoch keineswegs zu jener Umwälzung des Zeitbegriffs führen müsse, die das Paradoxe in Einsteins Gedankengängen bildet. Lenard will die praktische, technische Verwirklichung der Gleichzeitigkeit streng von dem Denken derselben geschieden wissen. Das „allgemeine" Relativitätsprinzip aber läßt er nur insoweit gelten, als es sich um Bewegungen unter dem Einfluß massenproportionaler Kräfte handelt, wie der Gravitation, bei denen die Trägheitswirkung na-

türlich wegfällt, die in allen übrigen Fällen (Zentrifugalkraft, Foucaultscher Versuch usw.) eine Feststellung absoluter Beschleunigungen und daher auch absoluter Rotation ermöglicht. Vor Philosophen und sonstigem Publikum möge das allgemeine Relativitätsprinzip durch solche Einschränkung verlieren, für den Naturforscher könne es dadurch nur gewinnen. Es ist bemerkenswert, daß L. auch der Gerberschen Gravitationstheorie voll gerecht wird.

Die Lektüre dieser kleinen Schrift mag immerhin geeignet sein, etwas Wasser in den vielleicht hier und da allzu starken Wein der Relativitätstheoretiker zu gießen. Im übrigen soll hier über diesen Streitpunkt kein Urteil gefällt werden.

Bavink, Bielefeld.

Leben und Wissenschaft, Wissenschaft und Leben. Rektoratsrede von Dr. H. TH. SIMON, Professor a. d. Universität Göttingen. Leipzig, S. Hirzel 1918. 32 S. M. 1,95.

Der geistvolle Vortrag behandelt die Beziehungen von Wirklichkeit und Denken, ausgehend von einer Betrachtung der fundamentalen Wahrnehmungstatsachen. Beachtenswert sind namentlich die Ausblicke auf die Relativitätstheorie, bei denen es u. a. als eine Begriffsverwirrung bezeichnet wird, wenn man von einer Änderung der Länge eines Maßstabes oder der von einer Uhr angegebenen Zeit infolge der Bewegung des Beobachters spreche, oder wenn gemeint werde, daß Raum und Zeit ineinanderflössen oder ineinander verwandelbar seien. Man wird diese Äußerungen eines klar und nüchtern denkenden Physikers mit besonderem Interesse lesen. Aufrichtige Trauer aber wird es erwecken, daß der hervorragende Forscher uns eben jetzt im kräftigsten Mannesalter entrissen worden ist -- viel zu früh für die deutsche Wissenschaft, die noch viel von ihm erwarten durfte. *P.*

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1916. Dargestellt von der Deutschen physikalischen Gesellschaft. 72. Jahrg. In drei Abteilungen, redigiert von K. Scheel und R. Aßmann. XXVIII+932, XXXIV+497, L+508 S. Braunschweig, Friedrich Vieweg u. Sohn, 1917.

Auch dieser Kriegsjahrgang legt wiederum Zeugnis ab von der Leistungsfähigkeit der deutschen Wissenschaft und — des deutschen Buchhandels; es ist sicherlich der Verlagsbuchhandlung zu hohem Verdienst anzurechnen, daß sie die Fortführung des Werkes in der überlieferten Form zustande gebracht hat. In Band I treffen wir u. a. auf eine lehrreiche Übersicht über das immer mehr anschwellende Gebiet der Relativitätstheorie von des rastlos tätigen Emil Lampe Hand, den vor kurzem der Tod abgerufen hat; und eine umfassende Darstellung fast der gesamten physikalischen Chemie aus der Feder des nicht minder unermüdlichen Heinrich Böttger. An Band II hat Leopold Levy den Hauptanteil mit der Bearbeitung der Optik des gesamten Spektrums. Band III, der den Titel „Kosmische Physik" trägt, umfaßt auch einerseits Teile der reinen Astronomie, andererseits die gesamte Geophysik. Von besonders zeitgemäßen Abschnitten seien „Wetter und Krieg" und „Luftfahrt und Flugwesen" angeführt. Der Herausgeber dieses Bandes, R. Aßmann, ist ebenfalls inzwischen aus dem Leben geschieden; aber das Werk, an dem er mitgewirkt hat, wird weiterdauern als ein unentbehrliches Gesamtbild der beständig fortschreitenden Forschung. *P.*

Korrespondenz.

Die Firma Leppin und Masche in Berlin, S.-O., Engelufer 17, hat am 1. Januar d. J. das Fest ihres fünfzigjährigen Bestehens begangen. Inhaber der Firma sind zur Zeit die Herren Otto und Max Leppin, die Söhne des vor wenigen Monaten verstorbenen Mitbegründers Otto Leppin. Als Laboratoriumsvorstand steht ihnen seit einigen Jahren Dr. Wilhelm Volkmann zur Seite. Nachdem die Firma während des Krieges sich vorwiegend in den Dienst des Heeresbedarfs gestellt hatte, wird sie nunmehr ihre alte Tätigkeit für die Interessen der Wissenschaft und des Unterrichts wieder aufnehmen.

Apparatur für drahtlose Telegraphie. Zu dem Aufsatz über ein neues Thermoelement (dieses Heft S. 7) füge ich noch folgende Mitteilung hinzu: Die Physikalischen Werkstätten zur Erforschung des Erdinnern in Göttingen statten den Empfänger ihrer Apparatur für kurze, drahtlose Wellen neuerdings mit einem hochempfindlichen Vakuumthermoelement als Detektor aus. Die Apparatur ist dadurch zu einem vorzüglichen Unterrichtshilfsmittel geworden. Die Ausführung der meisten Versuche über elektrische Wellen, insbesondere der Hertzschen Grundversuche ist damit fast mühelos möglich.

E. Günther.



Himmelserscheinungen im Februar und März 1919.

12^h = Mittag, 0^h und 24^h = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ – $0,1^h$).

MEZ 12^h	Februar 5	10	15	20	25	März 2	7	12	17	22	27
☿ AR	$20^h 22^m$	20.55	21.29	22.3	22.38	22.13	23.47	0.19	0.47	1.7	1.16
☿ D	-21^0	−19	−17	−14	−11	−6	−2	3	7	10	11
♀ AR	$22^h 22^m$	22.46	23.9	23.32	23.55	0.17	0.39	1.2	1.24	1.47	2.10
♀ D	-12^0	−9	−7	−4	−2	1	3	6	8	11	13
☾ AR	$21^h 12^m$	21.32	21.52	22.11	22.30	22.49	23.8	23.26	23.45	0.3	0.21
☾ D	$-16,2^0$	−14,6	−12,9	−11,2	−9,4	−7,5	−5,6	−3,6	−1,7	0,3	2,3
♂ AR	$22^h 37^m$	22.51	23.6	23.20	23.35	23.49	0.3	0.17	0.31	0.45	0.59
♂ D	-10^0	−8	−7	−5	−4	−2	0	1	3	4	6
♃ AR		6.28		6.26		6.25		6.26		6.28	
♃ D		23		23		23		23		23	
♄ AR	$9^h 53^m$					9.46					
♄ D	14^0					15^0					
Sternzeit [1])	$20^h 58^m 11^s$	21.17.53	21.37.36	21.57.19	22.17.2	22.36.44	22.56.27	23.16.10	23.35.53	23.55.35	0.15.18
Zeitgl.	$14^m 6^s$	14.23	14.19	13.58	13.19	12.27	11.22	10.6	8.42	7.13	5.42
Breite von Berlin. Ortszeit											
☉ Aufg [2])	$7^h 39^m$	7.30	7.20	7.10	7.0	6.49	6.37	6.26	6.14	6.3	5.51
☉ Untergang [2])	$16^h 50^m$	16.59	17.9	17.19	17.28	17.37	17.46	17.55	18.4	18.13	18.22
☾ Aufg [2])	$8^h 59^m$	12.17	18.16	23.57	3.46	6.18	8.34	13.39	19.29	—	3.27
☾ Untergang [2])	$23^h 16^m$	4.8	6.55	8.31	11.47	18.7	—	4.11	5.56	8.3	12.58

[1]) Im Stargarder Meridian. [2]) Für den Mittelpunkt der Scheibe.

Frühlingsanfang MEZ: März 21, 17^h.

	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
Mondphasen	Febr. 1, $0^h 7^m$	Febr. 7, $19^h 52^m$	Febr. 15, $0^h 38^m$	Febr. 23, $2^h 48^m$
	März 2, $12^h 11^m$	März 9, $4^h 14^m$	März 16, $16^h 41^m$	März 24, $21^h 34^m$
	März 31. $22^h 5^m$			

Der **Mond** tritt an folgenden Tagen (MEZ) in die abgerundeten **Sternbilder** des **Tierkreises**:

Länge	W 25^0	S 55^0	Z 85^0	K 115^0	L 145^0	J 175^0	Wg 205^0	Sp 235^0	Sz 265^0	Sb 295^0	Ws 325^0	Fs 355^0	
Jan.										30	• 2	4	Febr.
Febr.	6	8	10	12	15	17	19	22	24	27	• 1	3	März
März	5	7	9	11	14	16	19	21	24	26	28	30	März

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	☿ Abendstern nachm.	
III 8	7,0	
III 12	D 7,0	U 7,4
III 22	D 7,3	U 8,1
IV 1	D 7,6	U 7,8

Tag	♀ Abendstern nachm.		♂ (Ws, Fs) nachm.		♃ (Zwillinge) nachm.	♃ vorm.	♄ (Krebs) nachm.	♄ vorm.
I 21	D $5,1^h$	U $5,6^h$	D 5,7	U 6,7	D 5,5	D 6,8	A 6,7	D 6,7
II 10	D 5,7	U 6,7	D 6,2	U 6,9	D 6,1	U 5,5	D 6,2	D 6,3
III 2	D 6,3	U 7,8	D 6,8	U 7,1	D 6,7	U 4,2	D 6,8	D 5,6
III 22	D 6,9	U 8,9	7,3		D 7,3	U 2,9	D 7,4	D 4,9
IV 11	D 7,5	U 10,0			D 7,9	U 1,7	D 8,0	U 3,9

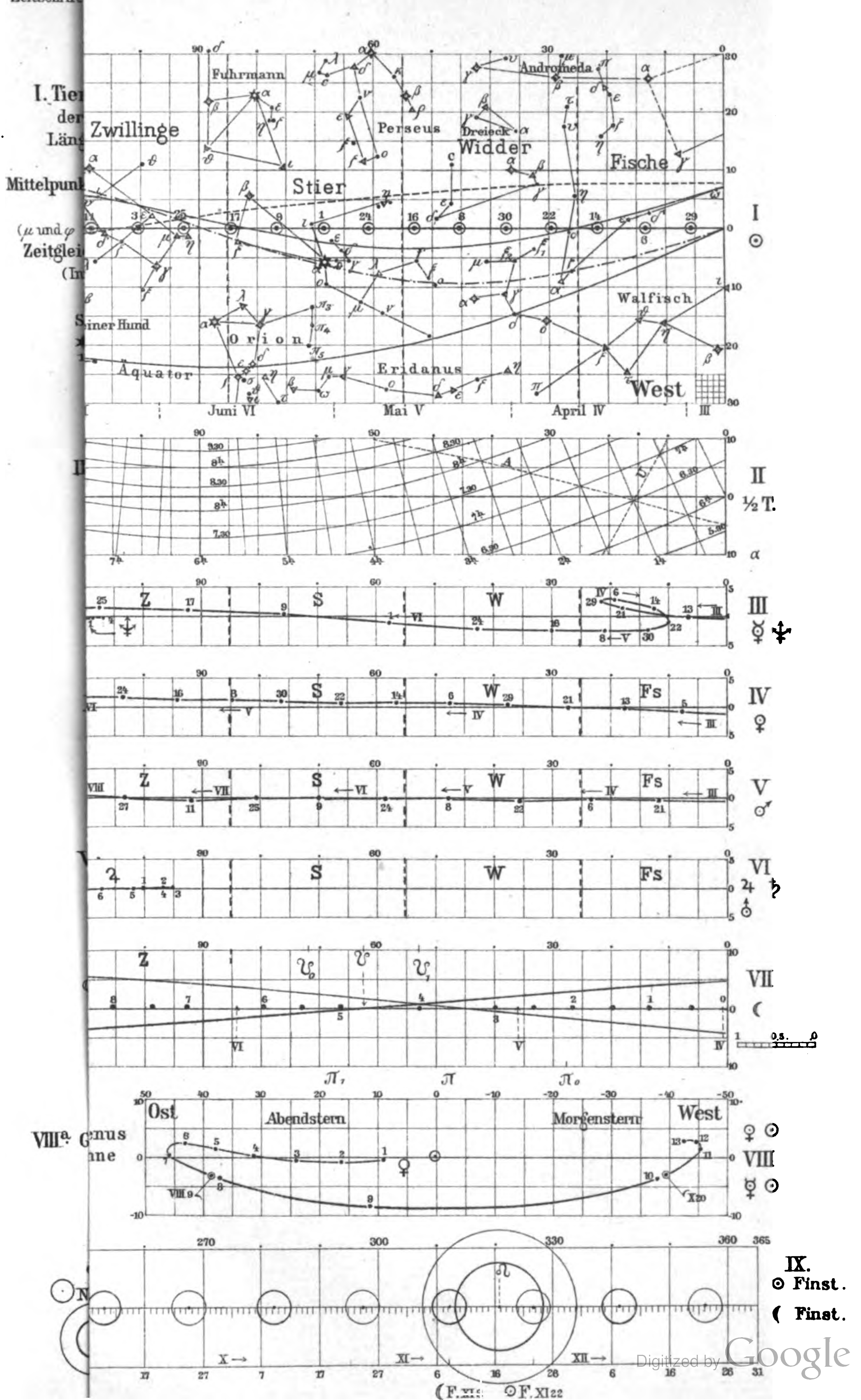
Verfinsterungen der Jupitermonde (MEZ). Nachmittag-Stunden. E = Eintritt, A = Austritt

Febr. 7, $9^h 38,5^m$ A I	März 2, $9^h 53,9^m$ A I	März 19, $7^h 54,0^m$ A II
„ 15, $8^h 15,3^m$ A II	„ 12, $8^h 55,8^m$ A III	„ 19, $2^h 36,0^m$ E III
„ 23, $7^h 58,3^m$ A I	„ 18, $8^h 14,2^m$ A I	„ 22, $7^h 25,9^m$ A IV.

M. Koppe.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.




Zeitschrift
I. Tier
der
Läng
Mittelpunk
Zeitglei
Zwillinge
Fuhrmann
Perseus
Andromeda
Widder
Fische
Stier
Dreieck
Walfisch
Orion
Äquator
Eridanus
West
Juni VI
Mai V
April IV
I
II
½ T.
III
IV
V
VI
VII
Ost
Abendstern
Morgenstern
West
VIIIa. Venus
VIII
IX.
Finst.
Finst.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXII. Jahrgang. **Zweites Heft.** März 1919.

Die Resultante zweier Parallelkräfte am frei beweglichen Körper.

Von Prof. Dr. **Emil Schulze** in Berlin-Friedenau.

In den Lehrbüchern finden wir zur Ermittlung der Resultante zweier Parallelkräfte am frei beweglichen Körper drei verschiedene Wege angegeben.

Die einen stellen sich vor, daß der Winkel φ, den zwei sich schneidende Kräfte k_1 und k_2 miteinander bilden (Fig. 1), verschwindend klein wird, in welchem Fall die Resultante $\sqrt{k_1^2 + k_2^2 + 2\, k_1\, k_2 \cos\varphi}$ den Wert $k_1 + k_2$ annimmt; ferner nehmen sie an, daß die für zwei sich schneidende Kräfte abgeleitete Momentengleichung $k_1 \cdot h_1 = k_2 \cdot h_2$ auch für $\varphi = 0$ gilt, in welchem Fall die Kraftarme h_1 und h_2 einen gestreckten Winkel bilden. Damit ist Größe und Lage der Resultante bestimmt. Obgleich dieser Weg schnell zum Ziel führt, wird er doch nur von wenigen Lehrbüchern eingeschlagen, weil für $\varphi = 0$ die Annahme der Gültigkeit des Wertes der Resultante $\sqrt{k_1^2 + k_2^2 + 2\, k_1\, k_2 \cos\varphi}$ sowie der Momentengleichung $k_1 h_1 = k_2 h_2$ nicht einwandfrei ist, z. B. paßt die übliche Ableitung der Momentengleichung, wonach aus Gleichheit der Dreiecke AMC_1 und AMC_2 (Fig. 1 auf S. 34) $^1/_2\, k_1 h_1 = {}^1/_2\, k_2 h_2$ sich ergibt, nicht mehr auf den Fall, daß k_1 und k_2 Parallelkräfte sind.

Grimsehl schlägt deshalb in seinem Lehrbuch einen anderen Weg ein. Er behandelt zunächst einen drehbaren Körper, für den er die Momentengleichung ableitet, mögen die Kraftrichtungen sich schneiden oder parallel sein. Hierauf denkt er sich einen frei beweglichen Körper, der unter Einfluß zweier Parallelkräfte k_1 und k_2 und der der Resultante entgegengesetzt gleichen Kraft k im Gleichgewicht ist (Fig. 2 auf S. 35), und stellt den Grundsatz auf, daß das Gleichgewicht eines frei beweglichen Körpers ungestört bleibt, wenn seine Beweglichkeit eingeschränkt wird. Indem er die Beweglichkeit dadurch einschränkt, daß er ihn sich um A und darauf um A_1 drehend denkt, gelangt er zu den Gleichungen $k_1 h_1 = k_2 h_2$ und $k h_1 = k_2 \cdot (h_1 + h_2)$, aus denen $k = k_1 + k_2$ folgt. Poske, der in seiner Oberstufe denselben Weg verfolgt, hält mit Recht noch den Nachweis, daß k parallel k_1 und k_2 ist, für notwendig. Er erreicht das, indem er sich die Beweglichkeit des Körpers auf Bewegungen längs der zu k_1 und k_2 senkrechten Geraden $B_1 B_2$ (Fig. 2) beschränkt denkt. Wäre k schief gegen $B_1 B_2$ gerichtet, so ergäbe sich eine längs $B_1 B_2$ gerichtete Komponente, die das System längs $B_1 B_2$ in Bewegung brächte, folglich muß $k \perp B_1 B_2$ und daher parallel k_1 und k_2 sein.

Bei weitem die meisten Lehrbücher gelangen mit Hilfe der Varignonschen Figur zum Ziel. Sie denken sich (Fig. 3 auf S. 36) in den Angriffspunkten A_1 und A_2 der Parallelkräfte k_1 und k_2 zwei gleiche, in den Verlängerungen von $A_1 A_2$ nach entgegengesetzten Richtungen wirkende Hilfskräfte p_1 und p_2 angebracht, worauf k_1 und p_1, k_2 und p_2 durch ihre Resultanten r_1 und r_2 ersetzt und letztere nach ihrem Schnittpunkt A verlegt werden; die Resultante von r_1 und r_2 ist dann die gesuchte Resultante der Parallelkräfte. Gegen diese Behandlung ist eingewendet worden, daß die Begründung mit Hilfe der schematischen Figur nicht befriedigt.

Vorliegender Aufsatz nimmt keine Stellung zu der Frage, welcher der drei Wege der gangbarste sei, sondern tritt dafür ein, daß, welchen Weg man auch ein-

schlagen möge, nicht ein Gedankenexperiment, sondern ein ausführbares Experiment den Weg weisen müsse. Man soll sich den Winkel φ zweier sich schneidender Kräfte nicht verschwindend klein vorstellen, die Beweglichkeit des frei beweglichen Körpers nicht als beschränkt annehmen, zwei entgegengesetzt gleiche Hilfskräfte sich nicht angebracht denken, sondern man soll das wirklich ausführen. Wie das im Unterricht zu geschehen hat, soll im folgenden angegeben werden. Hier sei nur noch bemerkt, daß die unten beschriebenen Versuche wegen ihrer Einfachheit für Schülerübungen besonders geeignet sind.

1. Parallelkräfte als Grenzfall zweier sich schneidender Kräfte.

Als Körper, an dem die drei Kräfte k, k_1, k_2 angebracht sind, ist in diesem und den meisten folgenden Versuchen Seidenpapier gewählt worden, weil sein Gewicht so gering ist, daß es unberücksichtigt bleiben kann. Fig. 1 stellt ein rechteckiges Blatt Seidenpapier dar. In den drei Punkten A, A_1, A_2 sind Fäden befestigt; an dem ersten hängt das Gewicht k, die beiden anderen sind nach oben über zwei leicht bewegliche, an einen Rahmen angeschraubte Rollen geführt; an ihren Enden hängen die Gewichte k_1 und k_2. Leichte, durchlochte Holzplättchen sind auf A, A_1, A_2 geklebt, um ein Einschneiden der Fäden ins Papier infolge der Fadenspannung zu verhindern. Wie man auch die drei Kräfte k, k_1 k_2 abändern möge, stets kommt das Papier von selbst ins Gleichgewicht, wobei die drei Kraftrichtungen sich in einem Punkt M schneiden. Läßt man die Kräfte k_1 und k_2 unverändert und vergrößert allmählich die Kraft k, indem man dem nach unten ziehenden Gewichtssatz Gewichte zulegt, so tritt ein Sinken des Papiers ein und man muß die eine Rolle am Rahmen näher an die andere heranschieben, um das Papier wieder bis zur ursprünglichen Höhe steigen zu lassen; hierbei wird der Winkel $A_1 M A_2 = \varphi$ immer kleiner. In Fig. 1 ist das Beispiel $k_1 = 50$ g, $k_2 = 90$ g, $k = 135$ g gewählt; die drei Punkte A, A_1, A_2 haben 14 cm Abstand voneinander. Für unser Beispiel ergibt die Messung $h_1 = 4{,}3$ cm, $h_2 = 2{,}4$ cm, die Momentengleichung $k_1 \cdot h_1 = k_2 \cdot h_2$ ist hiernach mit großer Annäherung erfüllt. Die Fig. 1 und ebenso die folgenden Figuren sind in verjüngtem Maßstab gezeichnet.

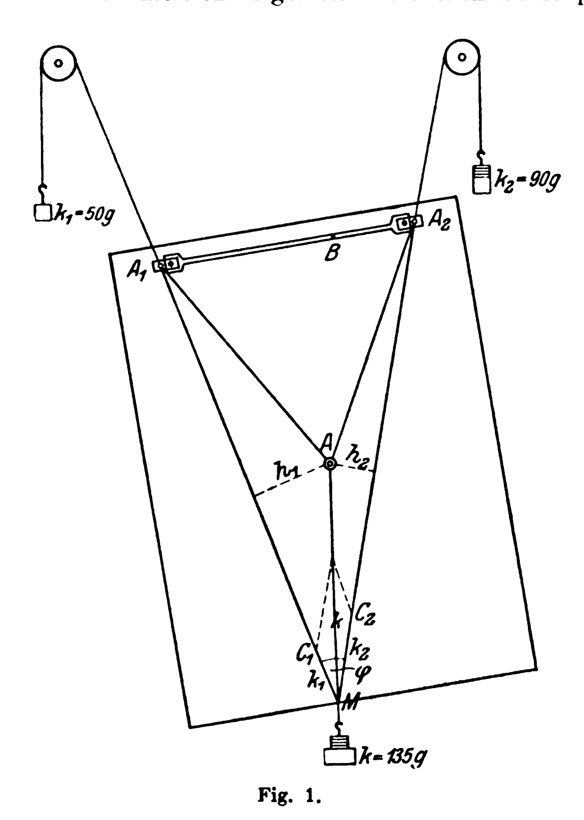


Fig. 1.

Legt man dem Gewichtssatz von 135 g noch 5 g zu und rückt die eine Rolle wieder etwas näher an die andere, bis Gleichgewicht eintritt, so sind jetzt die Fäden genau parallel und die beiden Kraftarme bilden einen gestreckten Winkel. Während des Anwachsens der Kraft k bis 140 g hat das Papier eine kleine Drehung gemacht; für $k = 140$ g trifft die Verlängerung des in A befestigten Fadens die Strecke $A_1 A_2$ im Punkt B, der von A_1 9 cm, von A_2 5 cm entfernt ist und daher die Strecke $A_1 A_2$ im umgekehrten Verhältnis der Gewichte k_1 und k_2 teilt.

Der Versuch zwingt dazu, die Spannungen im Seidenpapier zu beachten. Ist die veränderliche Kraft k anfänglich etwa gleich 60 g, so beobachten die Schüler,

daß sich das Papier in dem Dreiecksraum $A A_1 A_2$ unter Einwirkung der drei Kräfte strafft. Vergrößert man allmählich k, so werden die Zugspannungen längs $A A_1$ und namentlich längs $A A_2$ immer größer, dagegen längs $A_1 A_2$ immer kleiner. Für $k = 123$ g, in welchem Fall die drei Kraftrichtungen sich in A schneiden, ist längs $A_1 A_2$ gar keine Spannung vorhanden. Läßt man k von 123 g bis 140 g wachsen, so tritt eine Faltung des Papiers ein und der Versuch kann erst fortgesetzt werden, nachdem das Papier längs $A_1 A_2$ versteift worden ist, weil sich jetzt längs $A_1 A_2$ Schubspannungen ausbilden. Am bequemsten erreicht man die Versteifung, wenn man ein möglichst dünnes und leichtes Holzstäbchen, das jederseits in einer Platte endet, so an $A_1 A_2$ anlegt, daß die Platten auf die in A_1 und A_2 aufgeklebten Holzplatten passen, und hierauf die Platten durch je einen Reißnagel miteinander verbindet (Fig. 1). Die Vorrichtung ermöglicht es, das Papier schnell zu versteifen und ebenso schnell die Versteifung wieder zu beseitigen.

Am Schluß dieses Abschnittes mag noch bemerkt werden, daß das frei bewegliche Papier sich leicht in einen drehbaren Körper verwandeln läßt, wenn man durch eines der Löcher A, A_1, A_2 in eine dahinter befindliche Holzwand einen Nagel schlägt. Der Hebelsatz läßt sich an diesem Drehkörper viel genauer bestätigen, als an der zu diesem Zweck meist benutzten eisernen Drehscheibe. Außerdem ist die Beobachtung lehrreich, daß die einen Komponenten der im entgegengesetzten Sinn drehenden und sich das Gleichgewicht haltenden Kräfte auf die Achse entweder einen Zug oder einen Druck ausüben. Ist beispielsweise (Fig. 1) durch A_1 ein Nagel geschlagen, so wird auf ihn durch die Komponente von k ein Zug und durch die von k_2 ein Druck ausgeübt.

2. Beschränkung der Beweglichkeit des Körpers.

Die Fig. 2 stellt eine dünne, in den Punkten A, A_1, A_2 durchlöcherte Pappe dar, an der in den Löchern Fäden befestigt sind. An den Enden der in A_1 und A_2 befestigten Fäden hängen die Gewichte $k_1 = 50$ g, $k_2 = 90$ g; den in A befestigten Faden hängt man zunächst an einen Haken. Der Faden stellt sich parallel den beiden anderen Fäden ein und die Pappe macht eine solche Bewegung, daß die Verlängerung AB des Fadens, in welchem Punkt A man auch den oberen Faden befestigen möge, immer durch denselben Punkt B geht, der die Strecke $A_1 A_2$ im umgekehrten Verhältnis der Gewichte k_1 und k_2 teilt; ist $A_1 A_2 = 14$ cm gewählt, so ergibt die Messung $A_1 B = 9$ cm, $A_2 B = 5$ cm. Führt man den in A befestigten Faden nach oben über eine Rolle und hängt an sein Ende Gewichte, so sind 140 g + 3 g nötig, um die Pappe in der Schwebe zu erhalten; die 3 g sind das Ausgleichgewicht für die 3 g schwere Pappe.

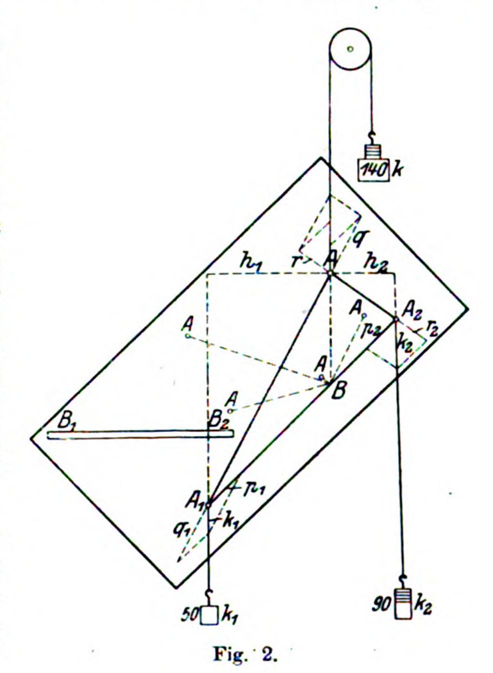


Fig. 2.

Um diese Versuchsergebnisse verständlich zu machen und zu begründen, schneide man aus der Pappe einen schmalen horizontalen Streifen $B_1 B_2$ heraus und schlage durch den erhaltenen Schlitz zwei Nägel in eine hinter der Pappe aufgestellte Holzwand. Hierdurch ist zwar die Beweglichkeit der vorher frei beweglichen Pappe beschränkt worden, indem sie nur längs des Schlitzes bewegt werden kann, aber das vorher be-

standene Gleichgewicht ist ungestört geblieben. Nimmt man mit der Hand eine seitliche Verschiebung der Pappe vor, so stellt sich der in A befestigte Faden schräg und es bildet sich eine seitliche Komponente der Kraft k aus, die beim Loslassen der Pappe sie wieder in die Gleichgewichtslage zurückbringt. In der Gleichgewichtslage selbst kann der Faden keine schräge Richtung haben, denn bei schräger Richtung würde seitliche Bewegung eintreten. Hiernach ist die Kraft k parallel k_1 und k_2.

Entfernt man die beiden Nägel und schlägt einen Nagel durch das Loch A in die Holzwand, so läßt sich der vorher frei bewegliche Körper jetzt um A drehen. Im Gleichgewichtszustand müssen daher die Drehmomente $k_1 h_1$ und $k_2 h_2$ gleich groß sein. Da $h_1 : h_2 = A_1 B : A_2 B$ und daher $k_2 : k_1 = A_1 B : A_2 B$ ist, so wird verständlich, warum die Verlängerung des in A befestigten Fadens, welchen Punkt der Pappe man auch als Punkt A wählen möge, immer durch denselben Punkt B geht.

Entfernt man endlich den Nagel und schlägt ihn durch das Loch A_1 in die Holzwand, so ist die Pappe um A_1 drehbar und es gilt die Drehmomentengleichung $k h_1 = k_2 \cdot (h_1 + h_2)$. Aus ihr und der Gleichung $k_1 h_1 = k_2 h_2$ folgt schließlich $k = k_1 + k_2$, wodurch auch dieses Versuchsergebnis seine Begründung findet.

Zum Schluß dieses Abschnittes sei noch darauf hingewiesen, daß nach Ableitung der Hebelformel die Vorrichtung der Fig. 2 sich gut dazu eignet, um vom beliebig gestalteten Hebel zur Hebelstange überzuleiten. Hat man die Pappe um A_1 drehend gemacht und den Angriffspunkt A der Kraft k nach B oder ganz dicht über B verlegt, beschneidet man dann die Pappe mit der Schere so, daß von ihr nur der schmale Streifen $A_1 A_2$ übrig bleibt, so stellt die Vorrichtung eine um A_1 drehbare Hebelstange dar, an der der Kraft $k = 140$ g mit einem 9 cm langen Hebelarm die Kraft $k_2 = 90$ g mit einem 14 cm langen Hebelarm das Gleichgewicht hält.

3. Das Varignonsche Verfahren.

Das Seidenpapier der Fig. 3 ist in den Punkten A_1, A_2, A_1', A_2', die die Ecken eines Rechtecks bilden, durchlocht und in den Löchern sind Fäden befestigt. An den Enden der beiden ersten Fäden hängen die Gewichte $k_1 = 50$ g und $k_2 = 90$ g; die beiden anderen Fäden sind vertikal nach oben über Rollen geführt und an ihren Enden hängen die Gewichte $k_1' = 50$ g und $k_2' = 90$ g. Durch diese vier Kräfte wird das Papier im Gleichgewicht gehalten. Wir gehen darauf aus, die Parallelkräfte k_1 und k_2 durch eine einzige Kraft k zu ersetzen. Das werden wir erreichen, wenn es uns zunächst gelingt, die Parallelkräfte k_1 und k_2 durch zwei sich schneidende Kräfte r_1 und r_2 zu ersetzen. Wir haben zu diesem Zweck nur nötig, zwei entgegengesetzt gleiche Hilfskräfte p_1 und p_2 anzubringen, die zusammen mit k_1 und k_2 die Resultanten r_1 und r_2 ergeben; deren Resultante ist dann die gesuchte Kraft k.

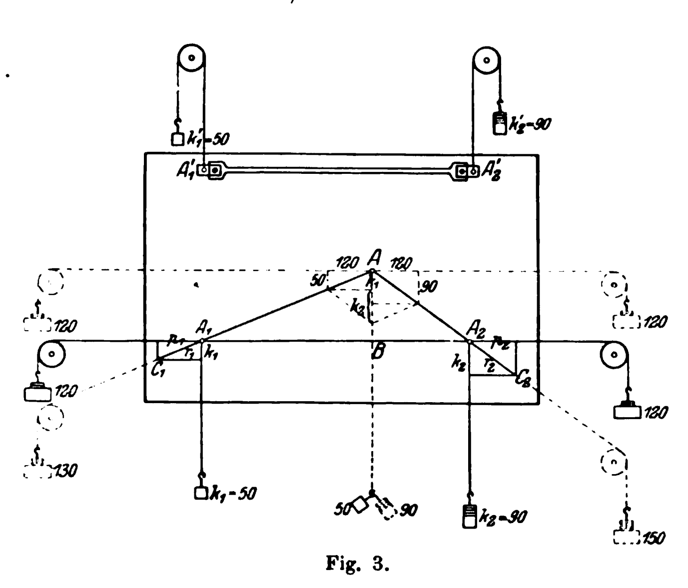


Fig. 3.

Wir haken in die Löcher A_1 und A_2 Stiftchen ein, an denen je ein Faden befestigt ist, führen die Fäden genau wagerecht über Rollen, die am Rahmen angeschraubt

sind, und hängen an ihre Enden die gleichen Gewichte $p_1 = 120$ g und $p_2 = 120$ g. Hierdurch erhält das Papier seitliche Spannungen, bleibt aber nach wie vor in der Schwebe. Jetzt ersetzen wir die Kräfte $k_1 = 50$ g und $p_1 = 120$ g, ebenso $k_2 = 90$ g und $p_2 = 120$ g durch ihre Resultanten $r_1 = \sqrt{50^2 + 120^2} = 130$ g und $r_2 = \sqrt{90^2 + 120^2} = 150$ g. Wir erreichen das, indem wir zu den beiden Gewichtssätzen von 120 g noch 10 g bzw. 30 g zufügen und die nach unten ziehenden Gewichte von 50 g und 90 g entfernen. Die in A_1 und A_2 befestigten Fäden, an denen jetzt die Kräfte r_1 und r_2 ziehen, stellen sich von selbst aus der horizontalen Lage genau in die Richtungen der Diagonalen $A_1 C_1$ und $A_2 C_2$ ein. Hierauf haken wir die in A_1 und A_2 eingeführten Stiftchen aus und in das Loch A im Schnittpunkt der Diagonalen ein. Hierdurch erfährt das Gleichgewicht keine Veränderung, doch muß zuvor das Papier längs $A_1' A_2'$ in der früher beschriebenen Weise versteift werden, weil sonst eine Faltung des Papiers durch sich bildende Schubkräfte eintreten würde. Sodann ersetzen wir die in A angreifenden Kräfte $r_1 = 130$ g und $r_2 = 150$ g durch ihre horizontalen Komponenten von je 120 g und ihre vertikalen Komponenten von 50 g und 90 g, indem wir von den Gewichtssätzen von 130 g und 150 g 10 g bzw. 30 g fortnehmen, die Fäden horizontal über die Rollen führen und an das Ende eines in A befestigten Fadens 50 g und 90 g anhängen. Entfernen wir endlich die beiden nach entgegengesetzten Richtungen ziehenden Gewichte von 120 g, so ist es gelungen, die beiden Kräfte $k_1 = 50$ g und $k_2 = 90$ g durch ihre ihnen parallele Resultante $k = k_1 + k_2 = 140$ g zu ersetzen. Daß der in A befestigte Faden die Strecke $A_1 A_2$ im umgekehrten Verhältnis der Kräfte k_1 und k_2 teilt, wie aus der Ähnlichkeit von Dreiecken der Fig. 3 folgt, wird durch den Versuch bestätigt; ist z. B. $A_1 A_2 = 14$ cm, so ergibt die Messung $A_1 B = 9$ cm und $A_2 B = 5$ cm. Damit sind Größe und Lage der Resultante festgestellt.

4. Ermittlung der Resultante durch Verwertung der Spannungen im Körper.

Bei den bisherigen Untersuchungen haben wir wiederholt Gelegenheit gehabt. die Spannungen im Papier zu beachten. Besonders auf die Zug- oder Schubspannungen längs der Dreiecksseiten AA_1, AA_2, $A_1 A_2$ ist aufmerksam gemacht worden. Es liegt nahe, diese Spannungen selbst zur Ermittlung der Resultante zweier Parallelkräfte heranzuziehen; eine solche Lösung unserer Aufgabe dürfte die naturgemäßeste sein.

Fr. Müller hat im 15. Jahrgang dieser Zeitschrift ein Hebelmodell beschrieben, an dem er das Hebelgesetz durch Verwertung der im Modell auftretenden Spannungen ableitet. Es besteht aus einem Holzstäbchen $A_1 A_2$ (Fig. 2) und zwei Fäden AA_1 und AA_2, zwischen die das Stäbchen gespreizt ist. Das System wird durch die Parallelkräfte k_1 und k_2 und durch die Kraft k im Gleichgewicht gehalten.

Der durch die Kräfte k, k_1, k_2 unmittelbar auf die Teilchen A, A_1, A_2 ausgeübte Zug pflanzt sich von diesen Teilchen aus durch das System von Teilchen zu Teilchen fort bis Gleichgewicht eingetreten ist. Beispielsweise wird das Teilchen A von der Kraft k unmittelbar nach oben und ebenso stark unter Einwirkung der Kräfte k_1 und k_2 durch die Reihe der Teilchen der Fäden $A_1 A$ und A_2 A nach unten gezogen. Ein entgegengesetzt gleicher Zug entsteht durch die Fadenteilchen von A nach A_1 und A_2. Jedes Fadenteilchen und ebenso jedes Teilchen des Stabes ist hiernach zwei entgegengesetzt gleichen Kräften ausgesetzt, die gleich den Komponenten der Kräfte k, k_1, k_2 in der Richtung der Fäden und des Stabes sind. Bezeichnen wir die Komponenten von k mit q und r, von k_1 mit p_1 und q_1, von k_2 mit p_2 und r_2, so lauten die Gleichgewichtsbedingungen

$$q = q_1, \quad r = r_2, \quad p_1 = p_2.$$

Aus ihnen läßt sich Größe und Lage der Kraft k und damit auch der ihr entgegengesetzt gleichen Resultante von k_1 und k_2 bestimmen.



Bedeutet das Rechteck in Fig. 2 nicht ein aus Fäden und Stäbchen bestehendes System, sondern ein Stück Pappe, so ist der durch die beiden Parallelkräfte k_1 und k_2 sowie die Kraft k erzeugte Spannungszustand nicht so einfach zu überschauen wie im Hebelmodell. Meines Wissens sind über die Spannungen in einer dünnen Platte, die von drei in der Platte gelegenen Kräften im Gleichgewicht gehalten wird, noch keine Untersuchungen angestellt worden. Auch ich verzichte in diesem Aufsatz auf eine solche Untersuchung als zu weitführend. Für vorliegende Aufgabe genügt die Annahme, daß wie im Hebelmodell so auch in der Pappe der von den Kräften k_1 und k_2 auf das Teilchen A ausgeübte Zug sich von A_1 und A_2 aus geradlinig nach A in den Richtungen $A_1 A$ und $A_2 A$ von Teilchen zu Teilchen fortpflanzen und gleich den Komponenten von k_1 und k_2 in diesen Richtungen sein wird; dasselbe gilt von dem Zug, der auf A_1 durch k und k_2 und auf A_2 durch k und k_1 ausgeübt wird. Die Fäden des Hebelmodells sind hier durch die Materialfäden $A A_1$ und $A A_2$ der Pappe und ebenso das Stäbchen des Modells durch das Materialstäbchen $A_1 A_2$ der Pappe ersetzt. Die oben für das Hebelmodell aufgestellten Gleichgewichtsbedingungen $q = q_1$, $r = r_2$, $p_1 = p_2$ gelten auch hier und führen genau in derselben Weise wie dort zur Bestimmung von Größe und Lage der Kraft k, die den Parallelkräften k_1 und k_2 das Gleichgewicht hält. Im Unterricht wird man diese Bestimmung nicht durch eine Zeichnung an der Tafel, wie in Fig. 2, sondern durch das Experiment selbst vornehmen, etwa in folgender Weise:

In den Punkten A, A_1, A_2 eines Seidenpapiers (Fig. 4) sind Fäden befestigt. Hängt man ersteren Faden an einen Haken und läßt an den Enden der beiden anderen die Gewichte $k_1 = 50\ g$, $k_2 = 90\ g$ ziehen, so faltet sich das Papier und muß daher längs $A_1 A_2$ in der früher angegebenen Weise versteift werden. Der Versuch zeigt, daß, in welchem Punkt A man auch den oberen Faden befestigen möge, er sich stets parallel den beiden anderen Fäden einstellt und seine Verlängerung immer durch denselben Punkt B geht, der die Strecke $A_1 A_2$ im umgekehrten Verhältnis der Gewichte k_1 und k_2 teilt; ist $A_1 A_2 = 14$ cm gewählt, so ergibt die Messung $A_1 B = 9$ cm, $A_2 B = 5$ cm.

Wenn man sich dazu entschließt, die Spannungen im Seidenpapier zur Begründung dieses Versuchsergebnisses heranzuziehen, so ist eine experimentelle Feststellung erwünscht, daß die Komponenten der Kräfte k, k_1, k_2 in den Richtungen $A_1 A_2$, $A A_1$, $A A_2$ wirklich als Schub- bezw. Zugkräfte in den Seiten des Dreiecks $A A_1 A_2$ auftreten. Damit der Zusammenhang dieser Ableitung (Fig. 4) mit der von Varignon (Fig. 3) deutlich hervortritt, soll als Punkt A ein Punkt des auf $A_1 A_2$ in B errichteten Lotes gewählt werden, in welchem Fall $A_1 A_2$ nicht wie in Fig. 2 eine schräge, sondern wie in Fig. 4 eine horizontale Lage erhält.

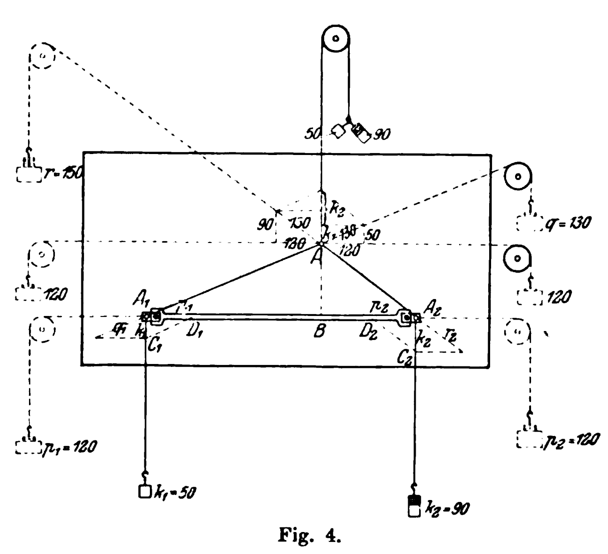


Fig. 4.

Sind in den Kräfteparallelogrammen der Fig. 4 die Kräfte $k_1 = A_1 C_1$ und $k_2 = A_2 C_2$ 50 und 90 Längeneinheiten lang gemacht worden und ergibt die Messung für die Komponenten $p_1 = A_1 D_1$ und $p_2 = A_2 D_2$ 120 Längeneinheiten, so soll durch den Versuch bestätigt werden, daß wirklich längs $A_1 A_2$ eine Schubspannung von 120 g vorhanden ist. Zu diesem Zwecke hake man in die Löcher A_1 und A_2 Stiftchen

ein, an denen je ein Faden befestigt ist, führe die Fäden horizontal über Rollen, die am Rahmen angeschraubt sind, hänge an ihr Ende etwa je 100 g und löse die Versteifung längs $A_1 A_2$. Man beobachtet, daß das Seidenpapier längs $A_1 A_2$ eine leichte Faltung aufweist; die Schubspannung ist also größer als 100 g. Vergrößert man die beiden Gewichtssätze allmählich, so verschwindet bei den Gewichtssätzen von 120 g die Faltung vollständig und bei weiterer Vergrößerung strafft sich das Papier längs $A_1 A_2$. Somit ist der experimentelle Nachweis einer Schubspannung von 120 g längs $A_1 A_2$ gelungen. Man versteife jetzt wieder das Papier längs $A_1 A_2$ und entferne die beiden Gewichtssätze.

Das Vorhandensein der Zugspannungen von $q_1 = \sqrt{k_1^2 + p_1^2} = 130$ g längs $A A_1$ und von $r_1 = \sqrt{k_2^2 + p_2^2} = 150$ g längs $A A_2$ weist man nach, indem man die beiden Stiftchen in das Loch A einhakt, die an ihnen befestigten Fäden schräg nach oben über Rollen führt, an ihr Ende die Gewichte $q = 130$ g und $r = 150$ g hängt und den am Haken angehängten Faden loslöst. Das Papier kommt von selbst ins Gleichgewicht und stellt sich so ein, daß die Fäden genau die Verlängerungen von $A A_1$ und $A A_2$ bilden (Fig. 4).

Jetzt ersetze man die Kraft $q = 130$ g durch ihre Komponenten, die horizontal gerichtete Kraft von 120 g und die vertikal nach oben gerichtete Kraft von 50 g, ebenso $r = 150$ g durch die Komponenten 120 und 90 g, indem man einen Faden vertikal nach oben über eine Rolle führt und Gewichte von 50 g und 90 g anhängt, von den Gewichten von 130 g und 150 g 10 g und 30 g wegnimmt und die Rollen so am Rahmen anschraubt, daß die Fäden horizontale Lage haben. Beseitigt man schließlich noch die entgegengesetzt gleichen Kräfte durch Entfernung der Gewichte von 120 g, so hat das Experiment selbst durch Verwertung der Spannungen im Papier zur Erkenntnis geführt, daß die Kraft k und daher auch die ihr entgegengesetzt gleiche Resultante der Parallelkräfte k_1 und k_2 ihnen parallel und gleich ihrer Summe ist. Aus den Proportionen $\frac{p_1}{k_1} = \frac{A_1 B}{A B}$, $\frac{p_2}{k_2} = \frac{A_2 B}{A B}$ folgt schließlich noch die Proportion $\frac{k_1}{k_2} = \frac{A_2 B}{A_1 B}$, wodurch die Lage der Resultante bestimmt ist.

5. Die Parallelkräfte bzw. ihre Resultante erzeugen Bewegung.

In den vorhergehenden Versuchen hielten die beiden Parallelkräfte der der Resultante entgegengesetzt gleichen Kraft das Gleichgewicht und erzeugten zusammen mit ihr Spannungen im Papier. Im folgenden soll die Gleichwertigkeit der Resultante mit den Parallelkräften experimentell dadurch nachgewiesen werden, daß sie ein Massensystem in denselben Bewegungszustand versetzt wie diese.

Das in Ruhe befindliche Massensystem der Fig. 2 soll dadurch in Bewegung versetzt werden, daß an das Ende eines in A befestigten Fadens ein Gewicht von 14 g angehängt wird. Das Massensystem nimmt unter Einwirkung der Kraft $k = 14$ g* eine beschleunigte Bewegung an. Befinden sich die beiden in A_1 und A_2 befestigten Massen von 50 g und 90 g 20 cm über der Bodenplatte, so schlagen sie, wie mittels eines Metronoms festgestellt werden kann, genau nach einer Sekunde unten auf. Entfernt man hierauf das Gewicht von 14 g und legt den Gewichtssätzen von 50 g und 90 g noch 5 g und 9 g zu, so erhält jetzt das Massensystem unter Einwirkung der Kräfte $k_1 = 5$ g* und $k_2 = 9$ g* wiederum eine beschleunigte Bewegung, und zwar schlagen die beiden in A_1 und A_2 befestigten Gewichtsmassen, die in der Ruhe wiederum 20 cm über der Bodenplatte geschwebt haben mögen, wie vorhin genau nach einer Sekunde unten auf.

Drei Untersuchungen über die Verbrennung von Kohle.

Von **Friedrich C. G. Müller** in Brandenburg (Havel).

I. Die Verbrennung von Kohle mit Salpetersäuredampf.

Erst kürzlich kam ich auf den Gedanken, die oxydierende Kraft der Salpetersäure dadurch zu zeigen, daß ich ihren Dampf durch ein schwach glühendes, mit Holzkohle beschicktes Rohr aus schwer schmelzendem Glase leitete. Gleich der erste Versuch vor der Klasse verlief glatt und eindrucksvoll. Der Apparat erhielt die aus Fig. 1 ersichtliche einfache Zusammenstellung. *A* ist das 35 cm lange, 1,5 cm weite Verbrennungsrohr, das zwischen Asbestpfropfen eine etwa 18 cm lange Säule feinkörniger Holzkohle enthält. In das eine Ende ragt, durch ein Stück Schlauch abgedichtet, eine kleine Retorte *B*, während das andere mit einem gekühlten U-Rohr *C* verbunden ist, aus dem die Gase in eine etwa 600 ccm fassende Tauchmeßglocke *D* geleitet werden.

Vor Beginn jeden Versuches wird das Rohr eine Zeitlang auf Höchsttemperatur erhitzt, um Feuchtigkeit und andere flüchtige Beimengungen auszutreiben. Wenn dann *B* und *C* angesetzt und die Säure in *B* mittelst eines ganz kleinen Flämmchens in Dampf verwandelt wird, beginnt die Kohle an der Eintrittsstelle leuchtend wegzubrennen, und die Glocke füllt sich mit einem nebeligen Gase.

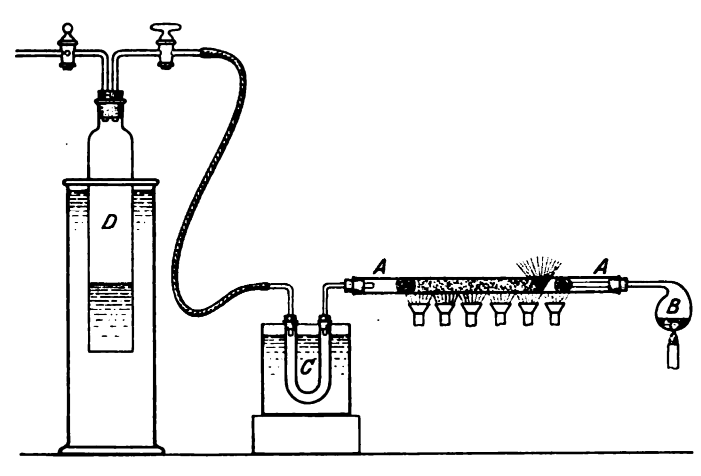


Fig. 1.

Bei den ersten Ausführungen hatte man in der Retorte fertige 84%ige Salpetersäure, wobei sich aber ein stoßweises Aufkochen nicht vermeiden ließ. Später wurde sie mit 10 g Kaliumsalpeter und 20 g konz. Schwefelsäure beschickt; nun entwickelte sich der Dampf wasserfreier Säure vollkommen ruhig, so daß man die Verbrennung genau so regeln konnte, wie beim Einleiten von Sauerstoff.

Selbstverständlich sollte es mit der bloßen Vorführung des Verbrennungseffekts nicht sein Bewenden haben; Hauptsache war vielmehr die quantitative Untersuchung der Verbrennungsprodukte. Eine solche ließ sich mittelst des vor langen Jahren von mir für Schulzwecke zusammengestellten Apparates zur Gasanalyse, wie er in *dieser Zeitschr. IV, 251* und in meiner Technik des physikal. Unterrichts, S. 345, beschrieben und abgebildet worden, auch vor der Klasse schnell und leichtverständlich durchführen.

Die Bestimmung von CO_2, O_2 und CO geschieht durch Absorption in Gaspipetten mit KOH, P, Cu_2Cl_2. Dem etwa 30 Hundertteile betragenden Gasrest werden etwa 8 Teile Sauerstoff hinzugefügt, die Mengung durch Hinübertreiben und Schütteln in der Kalipipette und die Zündung des in die Bürette zurückgezogenen Gemisches mittelst der eingeschmolzenen Platinspitzen durch einen elektrischen Funken bewirkt. Nachdem die Kontraktion abgelesen, wird das verbliebene Gas nochmals in der Kalipipette behandelt. Die etwa eingetretene neue Absorption von CO_2 würde auf vorhanden gewesenes gleiches Volum CH_4 deuten. Man muß aber sicher sein, daß kein

CO-Rest unabsorbiert geblieben. Anfänglich stand mir nur eine Pipette mit mehrfach benutzter ammoniakalischer Kupferchlorürlösung zur Verfügung und ich erhielt nach der Explosion etwa 2 % CO_2. Später, als das mit der älteren behandelte Gas noch in einer zweiten mit frischer Lösung gründlich geschüttelt wurde, trat noch eine geringe Nachabsorption ein und nach der Explosion zeigten sich nur Spuren von CO_2.

Bei jedem Versuche wurde die erste Glockenfüllung von 500 ccm fortgelassen und die darauf folgende zweite zur Analyse verwandt.

Der eigentliche Verbrennungsversuch dauert nur zwei Minuten.

Über die vier ersten mit 84 %-iger Salpetersäure durchgeführten Versuche sei nur mitgeteilt, daß die Verbrennungsgase neben 49—54 % CO_2 und 27—25 % N_2 14—8 % CO enthielten, außerdem 5 % H_2, etwas O_2 und NO. Es war also infolge der stoßweisen Entwicklung ein Teil der oxydierenden Gase unwirksam durch die Kohlenschicht entschlüpft.

Die beiden folgenden Versuche ergaben mit dem Gemisch von Salpeter und Schwefelsäure bei ruhigem, einwandfreiem Verlaufe Verbrennungsgase nachstehender Zusammensetzung:

CO_2	57,2	55,2
CO	13,3	14,7
H_2	4,6	3,4
N_2	24,9	26,7
	100,0	100,0

Sauerstoff konnte nicht nachgewiesen werden.

Ist schon der hohe CO-Gehalt und das Vorhandensein von freiem H_2 überraschend, so führte die Prüfung der in dem U-Rohr verdichteten wasserhellen, nicht ganz 1 ccm ausmachenden Flüssigkeit zu einem kaum glaublichen Ergebnis: Sie roch stark nach Ammoniak und gebrauchte unter Entbindung von CO_2 mehrere Kubikzentimeter Normalsäure zur Sättigung. Bei den zuletzt aufgeführten Versuchen war das U-Rohr von vornherein mit 10 ccm Normalsalzsäure beschickt; durch Zurücktitrierung mit Normallauge fand sich, daß 3,0 bzw. 2,5 ccm neutralisiert waren. Durch Multiplikation mit der Avagadroschen Zahl 22,4 ergeben sich 67,2 und 56,0 ccm NH_3. Diese entfallen auf 1000 ccm aufgefangenen Gases. Hiernach berechnet sich die durchschnittliche Zusammensetzung des gasförmigen Verbrennungsprodukts ungefähr zu

$$CO_2 = 53,\ CO = 13,\ H_2 = 4,\ NH_3 = 6,\ N_2 = 24.$$

Daneben entsteht noch etwas Wasser.

Der freie Wasserstoff entstammt, wie sich bei der im folgenden Aufsatz mitgeteilten Untersuchung der Verbrennung mittelst reinen, trockenen Sauerstoffs herausstellte, aus der Holzkohle, der Ammoniakwasserstoff aber aus dem Hydroxyl der Salpetersäure. Stickstoff und Wasserstoff haben sich trotz der etwa 900° betragenden Verbrennungstemperatur im Entstehungszustand in beträchtlichem Maße miteinander chemisch vereinigt.

II. Die unmittelbare Darstellung von Kohlenoxyd durch Verbrennung von Holzkohle mit reinem Sauerstoff.

Der allbekannte Schul- und Vorlesungsversuch der Synthese von Kohlendioxyd durch Verbrennung von Holzkohle in einem Rohr von schwer schmelzendem Glase durch eingeleiteten Sauerstoff hat bisher eine wissenschaftliche Bearbeitung nicht gefunden. Das entweichende Verbrennungsgas wurde unter Vorführung der charakteristischen Eigenschaften und Reaktionen einfach als Kohlensäure angesprochen. Es quantitativ zu analysieren, oder sein Litergewicht zu bestimmen, ist weder mir in meiner sehr langen Tätigkeit als Chemielehrer, noch, wie ich glaube, irgend einem anderen Berufsgenossen in den Sinn gekommen. Erst die im voranstehenden Aufsatze wiedergegebenen merkwürdigen Ergebnisse der Untersuchung der Produkte



einer Verbrennung von Holzkohle in Salpetersäuredampf wurden der Anlaß, die entsprechenden Versuche mit Sauerstoff durchzuführen. Gleich die erste Analyse zeigte eine Zusammensetzung der Verbrennungsgase, wie ich sie nimmermehr vorausgesehen hätte, und damit war der Anreiz zu einer umfangreichen wissenschaftlichen Arbeit gegeben, über die im nachfolgenden kurz berichtet werden soll.

Die ersten Versuche wurden in gewohnter Weise mit strengflüssigen Glasröhren von 1,5 cm Weite und 35 cm Länge durchgeführt, welche erbsengroße Holzkohle oder Koksstücke enthielten und, auf einer Blechrinne liegend, durch einen sechsflammigen Reihenbrenner auf 600°—700° erhitzt wurden. Der mit 7% Stickstoff verunreinigte Flaschen-Sauerstoff wurde mittelst einer Tauchmeßglocke von 600 ccm Fassung eingeführt, und die Verbrennungsgase von einer ebensolchen aufgenommen. Die erste Glockenfüllung von 500 ccm ließ man ins Freie, die zweite diente zur Analyse.

In der folgenden Tafel sind die Ergebnisse von fünf derartigen Versuchen zusammengestellt.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
CO_2	82,0	66,4	79,0	80,2	63,8	61,6
CO	6,6	17,4	9,3	12,0	24,3	3,6
H_2	2,8	6,2	4,0	0,6	0,0	0,0
N_2	8,6	10,0	7,3	7,2	9,9	10,6
O_2	0,0	0,0	0,4	0,0	2,0	24,2

Versuch 1 wurde in der üblichen Weise bei 18 cm Schichtlänge so langsam ausgeführt, daß an der Verbrennungsstelle nur Rotglut sichtbar wurde. Versuch 2 hingegen so schnell, daß Weißglühen eintrat. Es wurden hierbei auf 500 ccm Sauerstoff nicht das gleiche Raummaß Verbrennungsgas, sondern 550 ccm erhalten. Bei Versuch 3 war die Schichtlänge auf 8 cm verkürzt, die Verbrennung verlief langsam, der Sauerstoff wurde sorgfältig getrocknet. Zu Versuch 4 nahm man statt Holzkohle feingekörnten Schmelzkoks in 18 cm langer Schicht. Die Verbrennung setzte nur langsam ein, um dann bei Weißglut der vorne liegenden Körner mit voller Kraft zu verlaufen. Dabei wurden 500 ccm Sauerstoff in 15 Sekunden eingeführt und 530 ccm Verbrennungsgase erhalten. Ähnlich verlief Versuch 5 mit einer kurzen Schicht feinkörniger Bogenlichtkohle. Versuch 6 wurde mit sogenanntem Retortengraphit der Gasanstalt ausgeführt. Dies Material verbrannte aber nur unvollkommen, so daß die Temperatur an der Verbrennungsstelle nicht über Rotglut kam, auch bei schnellem Zustrom von Sauerstoff, von dem, wie die Analyse zeigt, ein Viertel unwirksam die Kohlenschicht durchstrich.

Der auffallendste Befund dieser und noch weiter mitzuteilenden Analysen ist das Auftreten von freiem Wasserstoff. Dieser entstammt aus der Holzkohle, zumal doch bei Versuch 3 der Sauerstoff sorgfältig getrocknet war, um die Möglichkeit einer nicht gerade wahrscheinlichen Wassergasbildung auszuschließen. Daß auch stark ausgeglühte Holzkohle oder Koks noch etwas gebundenen Wasserstoff enthalten, ist eine bekannte Tatsache. Was in unserem Falle aber niemand voraussehen konnte, ist der Umstand, daß dieser Wasserstoff nicht mit verbrennt, sondern als solcher in die Verbrennungsgase gelangt. Hinsichtlich des zu erwartenden Volums sei festgestellt, daß schon 1% Wasserstoff in der Holzkohle ein Verbrennungsgas mit 5,7% H_2 und 94,3% CO_2 bedingen könnte.

Das zweite noch umfangreichere und wichtigere Problem, auf welches obige Analysen hinführen, ist das der primären Kohlenoxydbildung.

Daß die gefundenen beträchtlichen Kohlenoxydgehalte ganz auf sekundärem Wege durch Reduktion von anfänglich gebildetem Kohlendioxyd entstanden sein könnten, erschien in Anbetracht der niedrigen Temperatur und der Kürze der Schicht von vornherein nicht wahrscheinlich. Um klar zu sehen, wurde ein Parallelversuch vorgenommen, bei dem ein langsamer Strom reines Kohlendioxyd durch das mit 18 cm feinkörniger Holzkohle beschickte und möglichst hoch erhitzte Rohr ging. Das austretende Gas enthielt: $CO_2 = 90,0$, $CO = 5,6$, $H_2 = 2,2$, $N_2 = 2,2$.

Demnach ist allerdings etwas Kohlenoxyd gebildet worden, aber ein Vergleich dieser Analyse mit den vorhin mitgeteilten, namentlich mit der vom Versuch 3, zeigt, daß bei der Verbrennung mittelst Sauerstoff auch bei Rotglut beträchtliche Mengen primäres Kohlenoxyd entstehen. Mit Rücksicht auf die Feuerungstechnik wurde noch ein entsprechender Versuch mit feingekörntem Koks vorgenommen. Nun wurden in dem austretenden Gase neben 98,0 % CO_2 nur 1,0 % CO gefunden. Damit ist erwiesen, daß die bei dem Versuch 4 auftretenden 12 % CO lediglich durch primäre Verbrennung entstanden sind.

Diese Feststellungen legten den Gedanken nahe, ob es nicht anginge, in demselben einfachen Apparate durch möglichste Steigerung der Verbrennungstemperatur direkt Kohlenoxyd darzustellen und auf diese Weise das mühsame indirekte Verfahren, wie es bislang für Unterrichtszwecke gehandhabt wird, zu umgehen. In der Tat erhielt ich gleich beim ersten Versuch, als ich binnen 15 Sekunden 500 ccm Sauerstoff in das Verbrennungsrohr trieb, als Verbrennungsprodukt ein mit blauer Flamme brennendes Gas mit etwa 60 % Kohlenoxyd. Aber das Glasrohr blies auf. Infolgedessen griff ich zum Quarzrohr und führte damit einige gleiche Versuche mit noch besserem, bis auf 70 % CO gesteigerten Erfolge aus. Dann kehrte ich wieder zum Glasrohr zurück, stellte aber die Tauchglocke am Austrittsende auf Saugen. Nun verliefen die Versuche ganz glatt, abgesehen davon, daß die Röhren beim Erkalten zerspringen. Bei einem wurde eine genaue Analyse ausgeführt. In 12 Sekunden waren mit 240 ccm Sauerstoff 380 ccm Verbrennungsgase von folgender Zusammensetzung erzielt: 31,8 CO_2, 0,0 O_2, 51,9 CO, 8,4 H_2, 7,9 N_2.

Im Verlauf dieser Versuche lernte man, daß der Erfolg wesentlich von der Feinheit der Körnung der Holzkohle abhängt. Sie muß so weit zerstoßen werden, daß Stücke über Linsengröße nicht mehr dabei sind, worauf das Mehl durch ein Sieb von 1 mm Maschenweite zu beseitigen ist. Ferner zeigte es sich, daß die Verbrennungszone nur wenige Millimeter dick ist, daß man also mit einer kurzen Kohlensäule ausreicht und daß diese gar nicht erhitzt zu werden braucht. Endlich brachte man das Rohr, welches zweckmäßig nur etwa 13 mm weit und ziemlich dickwandig ist, in Vertikalstellung, wodurch ein gleichmäßiges Herabbrennen ohne Kanalbildung erzielt wird, zumal, wenn man das Rohr rüttelt, sobald das Feuer Neigung zeigt, an einer Seite hinabzusteigen.

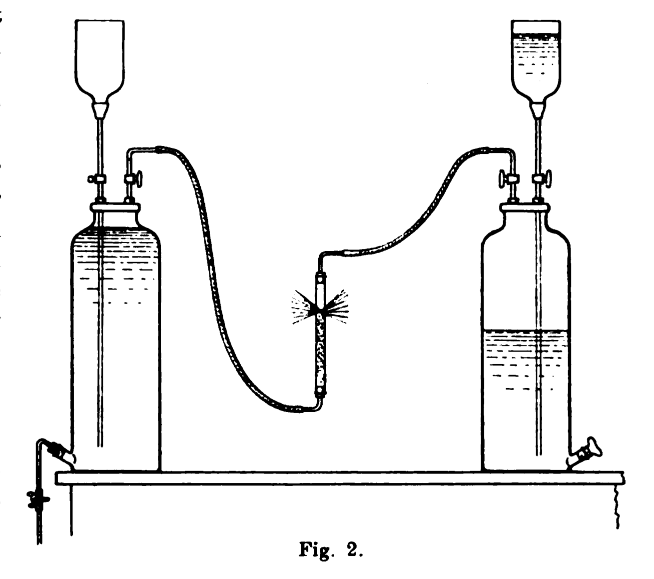


Fig. 2.

So sind auf dem Wege des Probierens Apparat und Versuchsführung überaus einfach geworden und die Dauer dieses eindrucksvollen und lehrreichen Experiments auf 1 Minute herabgebracht. Fig. 2 zeigt die Zusammenstellung zur Erzeugung größerer Gasmengen für umfangreiche Kohlenoxydexperimente. Das Verbrennungsrohr von etwa 20 cm Länge und 12 mm Weite wird oben und unten durch Klemmen eines Bunsenstativs gehalten, zu $^2/_3$ mit feingekörnter, gut ausgeglühter Holzkohle gefüllt. Rechts steht der Sauerstoffgasometer, links ein ganz mit Wasser gefüllter Gasometer, dessen Stutzen mit einer Abflußröhre von 5 mm Weite versehen wurde. Beim Beginn des Versuchs wird das Verbrennungsrohr an der Verbrennungsstelle durch eine oder zwei Bunsenflammen zum Glühen erhitzt, wobei es der Bequemlich-

keit wegen auch schräg gelegt werden kann. Dann öffnet man den Hahn am Sauggasometer ganz und den des Sauerstoffgasometers so weit, daß die Kohle unter blendender Weißglut verbrennt. Die nur wenige Millimeter dicke Verbrennungsschicht steigt langsam hinab, in etwa 15 Sekunden um 1 cm, dabei 500 ccm Gas liefernd.

Für Versuche im kleineren Maßstabe verwende ich anstatt der Gasometer meine Tauchmeßglocken.

Um die Verschiedenheit des Verbrennungsvorgangs bei niedriger und hoher Temperatur zu zeigen, läßt man ohne jeden Auffangeapparat das Gas unten aus dem Abführungsröhrchen frei ausströmen. Bei langsamer Zuleitung von Sauerstoff entweicht ein nicht entzündliches Gas, bei verstärkter brennt es mit blauer Flamme.

Von den verschiedenen eingehend analysierten Versuchen sei hier nur über einen kürzlich ausgeführten Gewaltversuch berichtet. Man erhielt mit der Zusammenstellung Fig. 2 binnen $1^1/_2$ Minuten 3,2 Liter Gas von folgender Zusammensetzung:

$$CO_2 = 13{,}0,\ O_2 = 0{,}0,\ CO = 68{,}4,\ H_2 = 3{,}1,\ N_2 = 15{,}5.$$

Der beträchtliche Stickstoffgehalt stammt selbstverständlich aus dem verwendeten Sauerstoff, der beim mehrtägigen Stehen im Gasometer über 6 Litern lufthaltigen Wassers, dessen Stickstoff nach dem Gesetz der Partialdrucke größtenteils aufgenommen hatte. Mit reinem Sauerstoff würde ein stickstofffreies Gas mit 77,4% CO entstanden sein; nach dem Durchleiten durch ein Natronkalkrohr hätte es neben 95,7% CO 4,3% H_2 enthalten.

Es bedarf kaum des Hinweises, daß das Bestehen einer primären Kohlenoxydbildung für die Theorie der Schachtöfen, Generatoren und Rostfeuerungen von wesentlicher Bedeutung ist. Allerdings kommt im großen kein reiner Sauerstoff, sondern atmosphärische Luft in Frage. Auch im kleinen habe ich in dem nämlichen Apparat Verbrennungen von Holzkohle mittelst Luft ausgeführt, es gelang aber nicht, die Temperatur dabei über hellrot zu steigern. In den Verbrennungsgasen fanden sich 16,5—17,5% CO_2, aber gegen Erwartung gar kein Kohlenoxyd. Es muß also die starke Verdünnung mit Stickstoff der primären Kohlenoxydbildung abträglich sein. Die Tatsache, daß der Gehalt an Kohlendioxyd um 4% hinter dem Sauerstoffgehalt der Luft zurückbleibt, dürfte in dem Wasserstoffgehalt der Holzkohle ihre Erklärung finden.

Am Schluß vorstehender Mitteilungen zeigt sich wieder das befriedigende Ergebnis, daß auch Schulversuche eine liebevolle wissenschaftliche Bearbeitung lohnen und nicht allein zu einer Erweiterung der Hilfsmittel des Experimentalunterrichts führen, sondern auch zu neuen Erkenntnissen, welche für die reine und die angewandte Wissenschaft von Wert sind.

III. Die Darstellung von Wassergas im Glasrohr.

Die in den beiden vorangehenden Mitteilungen geschilderten Versuche über direkte und indirekte Verbrennung von Holzkohle in Röhren aus schwer schmelzendem Glase führten naturgemäß auch zur Aufnahme des Wassergasproblems. Bis dahin konnte Wassergas für Unterrichtszwecke nur in Röhren aus Eisen, Porzellan, Quarz, welche durch besondere Öfen auf helle Rotglut erhitzt werden mußten, in befriedigender Weise dargestellt werden. Nach den angeführten neuen Versuchen erschien es jedoch ausführbar, auch in Glasröhren Wasserdampf bei 600—700° durch Holzkohle zu zerlegen. Nach einigen Vorversuchen gelang die Lösung der Aufgabe mit Hilfe des in Fig. 3 dargestellten Apparates.

A ist ein 35 cm langes, 1,5 cm weites Rohr von strengflüssigem Glase, welches mit einer 20 cm langen Säule von feingekörnter, fest eingedrückter Holzkohle beschickt ist und durch einen Reihenbrenner so hoch wie möglich erhitzt wird. Am Eintrittsende ist ein 8 mm weites T-Stück *B* eingesetzt, welches einen 200 ccm-Kolben mit Wasser trägt. Am anderen Ende ist *A* mit dem gekühlten U-Rohr *C* und der auf Saugen gestellten Tauchglocke *D* verbunden. Nachdem das Wasser im Kolben zum lebhaften Kochen gebracht, wobei der Dampf aus dem offenen Schenkel von *B*



ins Freie entweicht, öffnet man vorsichtig den Hahn der Glocke *D* soweit, daß sich in *C* tropfenweise Wasser niederschlägt. Dann wird sich die Glocke langsam mit einem Gase füllen. Zu bemerken ist, daß weites Aufdrehen des Hahns keine schnellere Gasbildung ergibt, sondern nur mehr überschüssiges Wasser nach *C* befördert.

Bei zwei in gedachter Weise gut durchgeführten Versuchen zeigte das Gas folgende Zusammensetzung:

	1.	2.
CO_2	26,6	26,6
O_2	0,0	0,0
CO	3,5	3,4
H_2	56,9	59,3
CH_4	6,0	5,1
N_2	7,0	5,6
	100,0	100,0

Bei Versuch 1 wurden in 20 Minuten 900 ccm Gas aufgefangen, und im U-Rohr fanden sich 1,65 g Wasser. Bei 2 in 10 Minuten 700 ccm Gas und 1,80 g kondensiertes Wasser. Das Gas brennt mit schwach leuchtender, nicht sehr heißer Flamme. Durch ein Natronkalkröhrchen von einer Meßtauchglocke in die andere und wieder zurück in die erste geleitet, verliert es ein Viertel seines Volums Kohlendioxyd und zeigt dann alle charakteristischen Merkmale des reinen Wasserstoffs.

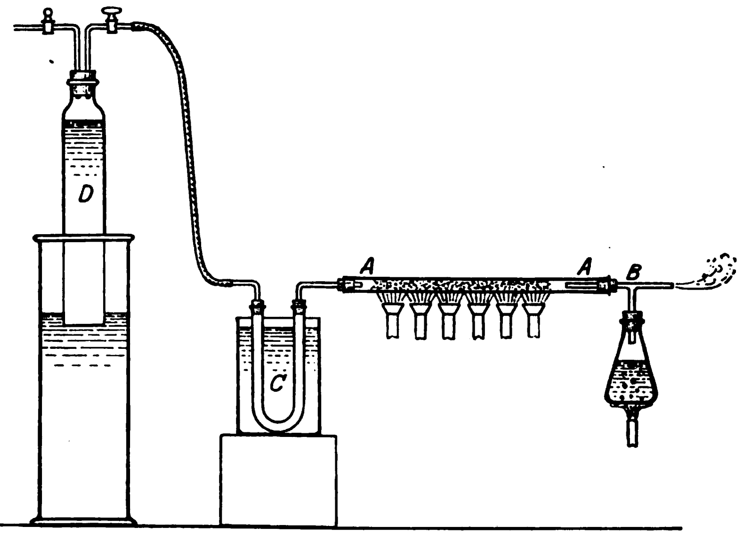


Fig. 3.

Die übersichtlichen und lehrreichen Versuche verlaufen ruhig und sicher. Allerdings dauern sie etwas lange, was aber insofern weniger schadet, als sie selbsttätig weiter gehen. Der Experimentator braucht nur, wenn die saugende Wassersäule abnimmt, die Glocke höher zu ziehen und den Hahn etwas weiter aufzudrehen. Stillstand oder Glockenwechsel macht nichts aus.

Der festgestellte niedrige Kohlenoxydgehalt ist in Anbetracht der niedrigen Reaktionstemperatur ganz naturgemäß. Lehrreich ist noch das Verhältnis des zerlegten und nicht zerlegten Wasserdampfs. Bei Versuch 2 im U-Rohr gefundene 1,8 ccm Wasser nehmen als Dampf einen Raum von $22{,}4 \cdot 1{,}8/18 = 2{,}24$ l ein; an Wasserstoff wurden $0{,}7 \cdot 59{,}3/100 = 0{,}415$ l aufgefangen; mithin ist das gesuchte Verhältnis 1 : 5,4. Bei dem langsamer verlaufenen Versuch 1 ist es 1 : 4.

Nachtrag. Neuerdings wurde das Rohr nicht offen, sondern in einem Verbrennungsofen für Elementaranalyse wohl bis auf 800° erhitzt. Die Versuchsdauer ging auf 3 Min. herab. Das Gas enthielt 23,4 CO_2, 10,8 CO, 58,3 H_2, 2,4 CH_4, 4,8 N_2. Die in den beiden älteren Analysen aufgeführten CH_4-Gehalte sind wahrscheinlich zu hoch, weil damals nur eine einzige Cu_2Cl_2-Pipette vorhanden war. Das Zuviel kommt zum CO.

Verwendung eines Bogenlampentransformators zu Demonstrationsversuchen über Induktion und besonders Selbstinduktion.

Von **B. Reismann** in Hattingen (Ruhr).

In einer kurzen Notiz in dieser Zeitschrift (vergl. Jahrg. 29, Heft 1) habe ich darauf hingewiesen, daß manche Instrumente der Elektrotechnik, beispielsweise kleine Hochspannungsmeßtransformatoren, sich vorzüglich zu Unterrichtszwecken eignen. Gelegentlich des Besuches einer großen elektrischen Zentrale erhielt ich geschenksweise einen gebrauchten Bogenlampentransformator, der zur Herabsetzung der Netzspannung von 220 Volt auf 65 Volt benutzt wird. Dieses Instrument besitzt einen Kern aus U-förmig gestanzten Eisenblechen, deren Maße in der nebenstehenden Figur 1 angeschrieben sind; sein Eisenquerschnitt beträgt 6 cm × 4 cm. Ein abnehmbares Joch aus gestanzten Blechen von gleichem Gesamtquerschnitt schließt den magnetischen Kreis. Der Transformator ist als sog. Spartransformator gewickelt, d. h. Sekundär- und Primärspule sind nicht nur induktiv, sondern auch galvanisch gekoppelt (s. Fig. 2).

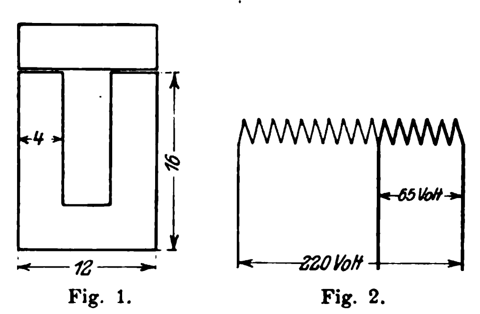


Fig. 1. Fig. 2.

Für unsere Versuche ist das ohne Belang, eventuell kann man ohne größere Mühe eine Umwicklung vornehmen. Im 220-Voltkreis beträgt die Drahtdicke 2 mm, im 65-Voltkreis 4 mm; der Widerstand ist entsprechend klein, ca. 0,8 Ohm. Ein besonderer Vorteil des Apparates ist seine vollständige Zerlegbarkeit: das Joch und beide Spulenkasten können abgenommen werden und dadurch wird eine Reihe hübscher Versuche ermöglicht.

I. Versuche über Selbstinduktion.

1. Man nimmt die beiden Spulen vom Kern ab, schließt sie an eine Gleichstromquelle und bestimmt aus einer Volt- und Ampereablesung den Widerstand (0,8 Ohm). Legt man nun die Spulen unter Einschaltung eines Wechselstromamperemeters (Meßbereich bis 20 Amp.) und zweier Sicherungen zu 10 Ampere an das Wechselstromnetz von 110 Volt, so brennen die Sicherungen sofort durch. Werden dann aber die Spulen ohne Vorschaltwiderstand auf den Eisenkern gesteckt, so zeigt das Amperemeter 8 Ampere an. Schließt man endlich den magnetischen Kreis durch das Joch, so fällt die Stromstärke auf ca. 1 Amp. (Eine genaue Angabe ist nicht möglich, da das benützte Amperemeter erst von 3 Ampere ab Messungen erlaubt.)

Die Versuche zeigen recht auffällig den Einfluß der zunehmenden Selbstinduktion in Wechselstromkreisen. Prinzipiell stimmt dieser Versuch mit der von R. Danneberg (diese Zeitschrift 1913, Heft 1, S. 35) gegebenen Anordnung überein, doch ist die Wirkung in unserem Falle erheblich größer.

2. Die starke Selbstinduktion des Transformators legt nun den Gedanken nahe, eine Versuchsanordnung zum Nachweis des Öffnungs- und Schließungsstromes auszuarbeiten. Auch hierfür gibt es bereits eine Reihe von Vorschlägen, z. B. die Verwendung der physiologischen Wirkungen des Öffnungsstromes oder die Methode, eine hochvoltige Glühlampe parallel zum Unterbrecher eines Funkeninduktors zu schalten. Diese Einrichtungen haben jedoch den Nachteil, daß sie nur die Existenz der Öffnungsspannung zeigen, nicht aber die Schließungsspannung, ganz abgesehen davon, daß die Glühlampe am Funkeninduktor keine Entscheidung darüber zuläßt, ob der Öffnungs- oder der Schließungsstrom die beobachtete Wirkung hervorruft.



Die von mir angewandte Schaltung zeigt Fig. 3. Darin ist

1. ein Amperemeter für maximal 20 Amp.
2. der geschlossene Transformator.
3. eine Glühlampe parallel zum Transformator.
4. ein Näpfchen mit Quecksilber und einer 1 cm hohen Wasserschicht.
5. ein Voltmeter für maximal 80 Volt.

Die Unterbrechung erfolgt unter Wasser durch Herausziehen des Drahtes *a*.

Die Glühlampe dient als Spannungszeiger und ist auch wie ein Voltmeter geschaltet. Es wurden der Reihe nach Metallfadenlampen für 25, 65 und 125 Volt ausprobiert.

In allen Fällen beobachtet man bei Stromschluß ein plötzliches, starkes Aufblitzen der Glühlampe und ebenso bei Unterbrechung des Stromes. In der Zwischenzeit leuchtet die Lampe nur ganz schwach, die 25 Voltlampe am stärksten, die zu 125 Volt am schwächsten. Das ist auch natürlich, da an den Enden der Transformatorspule bei einem Dauerstrom von 15 Amp. eine Spannung von 12 Volt liegt.

Ich habe versucht, die Helligkeit der Erscheinung bei den verschiedenen Glühlampen graphisch darzustellen, soweit dies nach dem bloßen Augenschein möglich ist (Fig. 4).

(Stromstärke am Amperemeter 15 Amp., Spannung am Voltmeter vor Stromschluß: 80 Volt, bei geschlossenem Strom 12 Volt.)

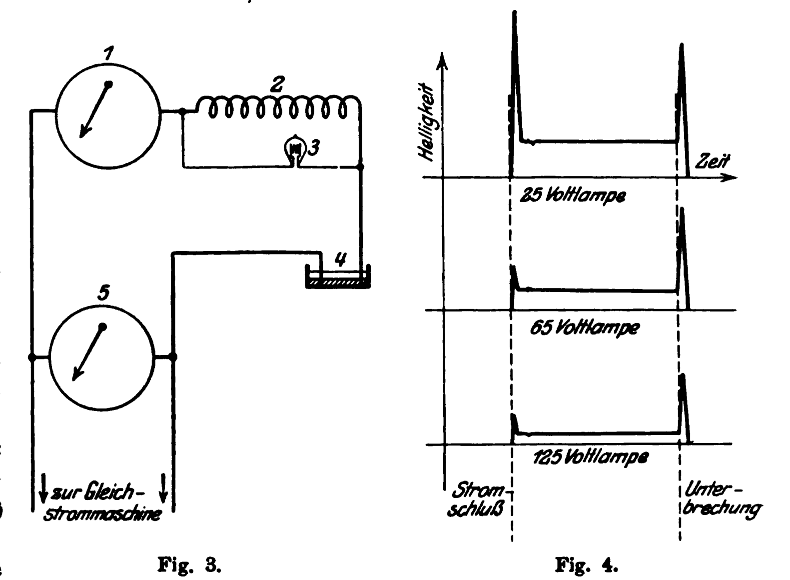


Fig. 3. Fig. 4.

Besonders auffällig ist, daß für die 25 Voltlampe der Lichtblitz beim Schließen stärker ist als beim Öffnen des Stromes. Die Tatsache erklärt sich leicht folgendermaßen. Kurz vor Stromschluß beträgt die Spannung 80 Volt, sie ist also beträchtlich höher als die normale Betriebsspannung der Lampe. Beim Stromschluß sperrt die induzierte elektromotorische Gegenkraft die Spule für einen Moment ab, so daß die Entladung zuerst durch die Lampe geht und diese zum Aufblitzen bringt. Der Schließungsinduktionsstrom ist also nur indirekt an dem Aufblitzen der Glühlampe beteiligt. Ein Gegenversuch, bei dem die Gleichstrommaschine von 80 Volt durch eine starke Akkumulatorenbatterie von 14 Volt ersetzt wurde, zeigte auch das Aufleuchten beim Schließen nicht, wohl aber beim Unterbrechen des Stromkreises, die 14-Voltspannung war für die Glühlampe zu niedrig.

Für die Zwecke des Unterrichts erscheint es nicht ratsam, die 25-Voltlampe (ceteris paribus) zu verwenden, da sie leicht zu der falschen Vorstellung Anlaß geben kann, daß die Schließungsspannung größer ist als die Öffnungsspannung. Die 125-Voltlampe liefert zu lichtschwache Erscheinungen, am besten arbeitet die 65-Voltlampe.

Von Wichtigkeit ist aber noch die Anstellung eines Gegenversuches, bei dem der Transformator durch einen induktionsfreien Widerstand von 0,8 Ohm unter

sonst gleichen Bedingungen ersetzt wird. Vorzüglich geeignet dazu sind die Widerstandsbänder von C. Schniewind in Neuenrade i. Westf. Diese bestehen aus starkem Konstantandraht, der mit Asbest zu einer Art Gurt verflochten ist; sie sind für alle Stromstärken und Spannungen von dort zu beziehen. Die Lichtkurve, die in diesem Falle beobachtet wurde, ist in Fig. 5 dargestellt. Der Charakter der Kurve hat sich völlig geändert; es tritt keine Spur von merkbarem Aufblitzen der Lampe mehr ein, vielmehr fällt es auf, wie träge der Faden aufglüht und wieder erlischt. In einem selbstinduktionsfreien Widerstand fällt also die Spannung bei Stromschluß momentan auf 12 Volt.

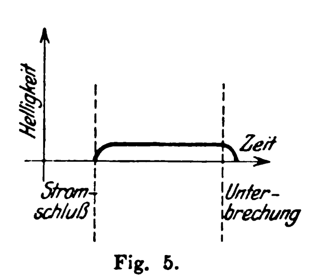


Fig. 5.

Diese zwei Versuche scheinen mir die Selbstinduktion als „Trägheit“ der Elektrizität gut zu charakterisieren.

Zur Technik des Versuchs sei noch bemerkt, daß Metallfadenlampen anzuwenden sind, die infolge ihres niedrigen Dunkelwiderstandes auf kurze Stromstöße sofort reagieren; Kohlenfadenlampen versagen hier. Außerdem empfiehlt es sich, vor die Glühlampe eine Mattscheibe zu stellen, da man in diesem Falle selbst kleine Helligkeitsschwankungen gut beobachten kann, offenbar deshalb, weil das Auge nicht durch die Betrachtung von Einzelheiten an der Lampe abgelenkt wird. Verdunklung des Zimmers ist, abgesehen von einer Abblendung direkten Sonnenlichtes, nicht erforderlich.

II. Induktionsversuche.

1. Demonstration der Foucaultschen Wirbelströme. Der Transformator wird nach Entfernung des Schlußjochs an 110 Volt Wechselspannung gelegt (8 Amp.) und nun durch einen fingerdicken Eisenstab von etwa 15—20 cm länge magnetisch geschlossen. Dieser wird im Gegensatz zum unterteilten Joch in 20—30 Sek. so heiß, daß man ihn mit der Hand nicht mehr gut berühren kann. Besonders interessant ist, daß die Erhitzung von der Stabmitte ausgeht und sich von dort langsam nach den Enden ausbreitet. Dadurch zeigt sich, daß die Wirbelströme in größerer Stärke nur in den von Kraftlinien durchflossenen Eisenteilen erzeugt werden. Bestreicht man den Stab mit thermoskopischer Farbe (Quecksilberjodid), so läßt sich die allmähliche Ausbreitung der Wärme weithin sichtbar demonstrieren. Streut man an Stelle des Eisenstabes einige Pfund Eisenfeile auf die freien Polenden, so tritt aus bekannten Gründen keine Erwärmung der Masse ein.

2. Niederspannungstransformator. Man legt um das Joch des geschlossenen Transformators eine Windung dünnen Drahtes, den man mit einem Telephon von passendem Widerstand verbindet. Mit 5 Windungen läßt sich bereits eine 2-Voltlampe zum Leuchten bringen.

III. Der Transformator als Elektromagnet.

Die rein elektromagnetischen Wirkungen des offenen Transformators bei Gleichstromerregung übertreffen natürlich alles, was mit den in Lehrmittelhandlungen käuflichen Schulelektromagneten erreichbar ist. Doch sind weitere Mitteilungen hierüber überflüssig, da die Versuche sich von selbst ergeben.

Hattingen (Ruhr), August 1918.

Zur Selbstanfertigung von Schulwandtafeln.

Von Prof. Dr. **Ernst A. Kielhauser** an der d. ö. Staatsgewerbeschule in **Klagenfurt**.

Gute Wandtafeln sind ein ausgezeichneter und in vielen Fällen unentbehrlicher Unterrichtsbehelf. Sie erleichtern dem Lehrer und Schüler ihre Aufgaben, sparen an Zeit und sind daher auch für den Vortragenden nicht überflüssig, den ein größeres zeichnerisches Können in die Lage setzt, selbst von einem verwickelteren Gegenstand rasch eine gute Skizze an der Schultafel zu entwerfen. An die Stelle von Wandtafeln ist heute vielfach das Projektionsbild getreten, das im Handel billiger als diese erhältlich ist, sie aber wegen seiner Flüchtigkeit nicht völlig zu ersetzen vermag. Eine Wandtafel kann beliebig lange in irgend einem Lehrzimmer hängen bleiben, und so prägt sich das auf ihr Dargestellte dem Gedächtnis des Schülers schon durch den bloßen täglichen Anblick sicher und mühelos ein. Damit soll keineswegs einem mechanischen Unterrichtsbetrieb das Wort geredet werden; ich halte aber Gedächtnishilfen in einer Zeit, wo die jungen Köpfe sehr viel und vielerlei in sich aufnehmen müssen, für recht zweckentsprechend und habe die Erfahrung gemacht, daß Schüler durch den häufigen Anblick irgend einer Darstellung eher zum Nachdenken darüber angeregt als zur Gedankenlosigkeit verleitet werden.

Ich habe mich die Mühe nicht verdrießen lassen, mir für meine Unterrichtsfächer (Physik, Chemie und chemische Technologie) selbst große Wandtafeln anzufertigen (bisher etwa 70 Stück) und habe gefunden, daß diese Arbeit reichlich Zinsen trägt und eine sehr willkommene Ergänzung zur Apparatensammlung darstellt, die zur Vertiefung und Wiederholung des Lehrstoffes mit größtem Nutzen herangezogen werden kann. Was alles Stoff für Wandtafeln geliefert hat, mag aus einer kurzen und unvollständigen Aufzählung ersehen werden:

1. Tafeln mit Zahlenangaben und Formeln: Einheitsgewichte von festen Körpern, von Flüssigkeiten, von Gasen; den Schulort betreffende Zahlenangaben (geographische Lage, Meereshöhe, Erdbeschleunigung, Geschwindigkeit infolge der Erddrehung, Temperatur- und Luftdruckmittel, magnetische Konstanten u. ä. m.); Fallbeschleunigung auf der Erde und auf anderen Weltkörpern; kritische Temperatur und kritischer Druck von Gasen; Wärmezahlen für Gase und Dämpfe; Luftbedarf und Rauchgasmenge für die Elementarbrennstoffe (für feuerungstechnische Rechnungen), elektrochemische Äquivalente u. a. m., Formeln, mit denen das Gedächtnis des Schülers nicht belastet werden soll, die aber, wie z. B. solche für die Schwerpunktslagen, für Trägheitsmomente, bei physikalischen Rechenaufgaben des öfteren gebraucht werden, finden sich auf Tafeln in ähnlicher Form zusammengestellt, wie in den verschiedenen technischen Hand- und Taschenbüchern. Es braucht wohl nicht weiter ausgeführt werden, wie viele wertvolle Betrachtungen, Vergleiche und Folgerungen an solche Zahlentafeln angeschlossen werden können.

2. Graphische Darstellungen. Heute ist es für jeden Techniker schier unerläßlich, graphische Darstellungen lesen zu können und auch der Nichttechniker wird daraus nur Vorteile ziehen, wenn er auf diesem Gebiet bewandert ist. Daher werden meine Schüler schon von Anbeginn des Unterrichtes in Physik und Chemie mit dieser Darstellungsform bekannt gemacht und sehr bald habe ich sie so weit, ihnen mit einer Schaulinie wirklich viel sagen zu können. Nicht nur in der Physik, wo bald ein Gesetz nach seiner Aufstellung graphisch dargestellt wird (z. B. die Zustandsgleichung eines idealen Gases), bald aus einer graphischen Darstellung (z. B. den Isothermen des Kohlendioxyds) die in ihr enthaltene Gesetzmäßigkeit herausgelesen wird, sondern auch im chemischen Unterricht werden Schaulinien häufig benutzt. Eine Tafel stellt das periodische System in einer Spirale dar, andere enthalten die Kurven für das Gleichgewicht der umkehrbaren Vorgänge:

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2\,CO,\; Fe_3\,O_4 + CO \rightleftarrows 3\,Fe\,O + CO_2,\; Fe\,O + CO \rightleftarrows Fe + CO_2;$$

ihre Vereinigung auf einem Blatt liefert ein Schaubild, das die im Hochofen vor sich gehenden Reduktionsvorgänge abzulesen gestattet. Metallographische Betrachtungen wären ohne Schaubilder überhaupt nicht durchzuführen. Gewiß werden viele solcher Darstellungen vor den Augen der Schüler entstehen müssen, viele, aber ganz sicher nicht alle, denn es kommt ja gerade darauf an, daß der Schüler auch ein Schaubild verstehen lerne, an dessen Entstehen er nicht beteiligt war. Natürlich fehlen auch Darstellungen nicht, die, wie die Fieberkurve des Kranken, die Lichtverteilung bei einer Glühlampe, im engsten Zusammenhange mit dem täglichen Leben stehen. Ich kenne kein besseres Mittel, um der Verwechslung der Zeit-Weg-Linie mit der Bahn des Körpers vorzubeugen, als die Erläuterung eines sogenannten „Graphikons" (graphischen Fahrplans).

Durch derlei Darstellungen werden die Schüler frühzeitig mit rechtwinkligen und Polarkoordinaten vertraut, der Weg in die analytische Geometrie ist bereits geebnet und kann mit umso größerem Erfolg beschritten werden.

3. Schematische Darstellungen finden sich nie genug in den Lehrbüchern vor. Wer hier etwas schaffen will, wird ein endloses Feld für seine Betätigung vorfinden. Meßinstrumente, Apparate, Maschinen, Fabriksanlagen liefern Stoff in Hülle und Fülle.

Was nun im Handel an großen Schulwandtafeln erhältlich ist, erfüllt nur in seltenen Fällen ganz seinen Zweck und vieles, was der Eigenart des Lehrers und seines Unterrichtes ganz besonders entsprechen würde und das daher in der Schule den größten Nutzen stiften könnte, ist im Handel überhaupt nicht zu haben. Die Handelsware krankt zudem zumeist daran — gewiß gibt es auch rühmliche Ausnahmen —, daß auf eine zu klein gewählte Fläche möglichst viel zusammengedrängt wird, oder daß die Bilder zu viele Einzelnheiten enthalten, in denen sich der Schüler nicht besser als ein mittelmäßiger Klavierspieler in einer Orchesterpartitur zurechtfindet. Beide werden aus dem, was ihnen vorliegt, gleich geringen Nutzen ziehen.

So empfiehlt sich aus mehrfachen Gründen die Selbstherstellung von Wandtafeln und es dürfte daher nicht überflüssig sein, wenn ich meinen Fachgenossen einige Hilfsmittel und Kunstgriffe mitteile, die diese Arbeit ganz wesentlich erleichtern.

Für die Tafeln verwende ich starkes, nicht zu rauhes Rollenzeichenpapier. Eine Rolle ist normal 140 cm breit und 20 m lang, so daß sie 16 Tafeln von der Größe 140 × 120 cm liefert. Der Preis der Rolle stellt sich im Frieden auf etwa 6 Mark, es belaufen sich also die Papierkosten für eine Tafel auf rund 40 Pfennig. Zum Zeichnen stärkerer Linien dienen die bei Soennecken erhältlichen Hartgummifedern in den Breiten von 4, 5, 6 und 8 mm (Fig. 1). Auch die Federn für die weiter unten beschriebenen Schriftschablonen lassen sich für diesen Zweck recht gut verwenden. Dünnere Linien werden mit einer einfachen oder einer Doppelreißfeder gezeichnet. Kurze Kurven zieht man mit Hilfe der kleinen Kurvenlineale, bei längeren Kurven hilft man sich leicht auf folgende Weise: Man zeichnet die Kurve erst mit Bleistift vor, dann läßt man an sie von einem Gehilfen einen langen, schmalen und hochkant gestellten Streifen aus elastischem Holz (Stück einer alten Reißschiene) mit entsprechender Biegung anlegen und festhalten und hat so eine einfache und gute Führung für die Feder (Fig. 2). Ist kein Gehilfe da, so kann man das eine Ende des Holzstreifens an ein schweres Gewicht anstemmen und selbst das zweite Ende festhalten. Durch Unterlegen kleiner Holzklötzchen verhindert man, daß das „Kurvenlineal" am Papier aufliegt, wodurch leicht Kleckse erzeugt würden. Vielfach empfiehlt es sich, die Tuschezeichnungen anzulegen. Ich verwende dazu Temperawasser-

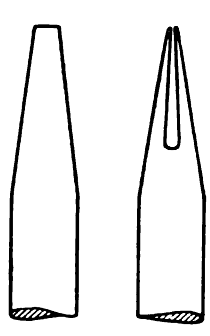


Fig. 1.

Fig. 2.

farben in Tuben von der Firma H. Schmincke & Co. in Düsseldorf und habe mit diesen Farben nur gute Erfahrungen gemacht. Da die großen Wandtafeln ähnlich wie Versatzstücke im Theater nur aus der Ferne wirken sollen, ist es Zeitvergeudung, auf das Anlegen eine allzugroße Sorgfalt zu verwenden. Das Beschreiben der Tafeln geht mit den Schriftschablonen „Bahrs Normograph", die die Firma P. Filler, Berlin S 42, Moritzstraße 18, herstellt, außerordentlich rasch und leicht vonstatten. Die Druckschrift, die mit diesen Schablonen erzeugt wird, ist gleichmäßig, sauber und sehr gut lesbar. Die Schablonen sind Zelluloidblättchen, in die Ausschnitte eingefräst sind. Mit zwei Schablonen, einer für das kleine, der anderen für das große Alphabet können sämtliche lateinischen Buchstaben einer Schriftgröße sowie die indischen und römischen Ziffern geschrieben werden. Für jede andere Schriftgröße ist ein neues Paar von Schablonen nötig. Die Schablonen werden in den Größen (Höhen der großen Buchstaben) von 5, 7, 10, 15, 18, 25, 30, 45, 60 mm hergestellt.

Das Schreiben mit den Schablonen hat man viel rascher erlernt, als es auf den ersten Blick hin den Anschein hat. Die Ausschnitte und damit das Schreibverfahren ändern sich nur unwesentlich mit der Schriftgröße. Die Schablonen für die großen Schriften sind an den Längsseiten verstärkt und ruhen daher nur mit diesen Verstärkungen auf der Schreibfläche auf. Für die kleineren Schriften sind, um sie über die Schreibfläche zu erhöhen, Zelluloidgriffe erhältlich, wenn man es nicht vorzieht, was einfacher und billiger ist, die Schablone auf einem Holzstreifen (Stück eines alten Dreiecks) mit Nägelchen oder Klebstoff dauernd zu befestigen. Zum Schreiben sind eigene Federn erforderlich. Die Federn für die Schriften bis 18 mm können an jedem gewöhnlichen Federhalter befestigt und wie eine Reißfeder mit Tusche gefüllt werden. Für größere Schriften sind eigene Füllhalter erforderlich (Preis $1^1/_2$ Mark). Die Preise der Schablonen bewegen sich zwischen 1 und 6 Mark. Ich verwende für meine Wandtafeln die Schriftgrößen 60 mm und 30 mm, erstere für die Aufschrift, letztere für den Text; dieser ist aus einer Entfernung von 8 m noch sehr gut lesbar. Die Auslage für diese vier Schablonen (60 mm, 30 mm), einschließlich zweier Federn und eines Füllhalters, beträgt 23,5 Mark (Friedenspreis) und macht sich durch den Zeitgewinn sehr schnell bezahlt. Zur Beschriftung von Zeichnungen und der Schildchen für Standgläser usf. benutze ich schon seit Jahren die kleineren Schablonen.

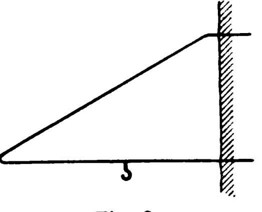


Fig. 3.

Die fertige Tafel wird auf Leinen aufgezogen, oben und unten mit einer schwarz gebeizten Holzleiste versehen und mit einer Öse zum Aufhängen ausgestattet. In die rechte, obere Ecke der Tafel kommt ihre Nummer, damit sie rasch am Aufbewahrungsort an die rechte Stelle eingereiht und bei Bedarf auch sofort wieder gefunden werden kann. Wo zur Aufbewahrung kein Schrank zur Verfügung steht, kann man sich so helfen, daß man sich ein Stück Rundeisen nach Fig. 3 zurechtbiegen und in die Mauer eingipsen läßt.

Kleine Mitteilungen.

Versuche mit elektrisierter Luft[1]).

Von Studienrat G. **Kainz** in Bamberg.

Herr Dvorak hat im 7. Bande dieser Zeitschrift (S. 176) einen sehr interessanten Versuch über die Elektrisierung der Luft eines Zimmers nebst Nachweis über die Art der Ladung angegeben. Dieser wirkungsvolle Versuch läßt sich mit einfachen Mitteln in jedem Zimmer anstellen. Den positiven Pol einer Influenzmaschine verbindet man

[1]) Man vergleiche hierzu besonders H. Geitel, Einfache Apparate und Versuche zur Luftelektrizität. *Diese Zeitschr. 28, 65 (1915). Die Schriftleitung.*



leitend mit einer Petroleumlampe oder einem Bunsenbrenner, der auf eine Ebonitplatte oder einen Paraffinblock gestellt ist, während der negative Pol der Maschine zur Erde abgeleitet wird. Hat man, je nach Größe des Raumes, die Maschine 1—2 Minuten lang gedreht, so ist die Luft hinreichend elektrisiert. Zum Nachweis für die Ladung der Luft und für die Art dieser Ladung kann man in folgender Weise verfahren: Ein Drahtnetz oder eine Metallplatte M von etwa 1 qdm Größe wird an einen Kupferdraht gelötet und dieser mit der Kopfschraube eines Elektroskopes E verbunden (Fig. 1). Unterhalb der Metallplatte bringt man eine brennende Paraffinkerze an, so daß die Flamme etwa 20 cm von der Metallplatte absteht. Sofort divergieren die Blättchen des Elektroskopes bis zur Selbstentladung am Gehäuse. Die Erscheinung wiederholt sich ziemlich oft, und die Ladung erweist sich als positiv. Auch den Wasserkollektor erwähnt Herr Dvořak, gibt aber nichts näheres über die Ladungsart der auffallenden Wassertropfen an.

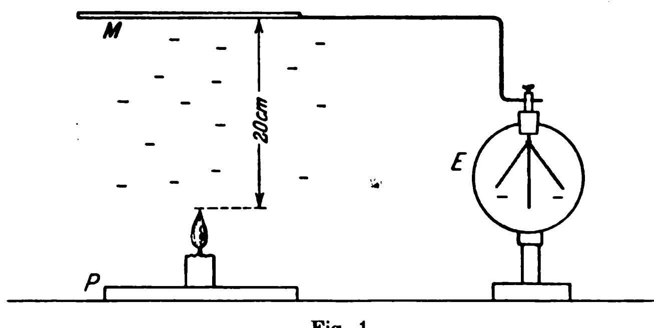


Fig. 1.

Diesen Versuch habe ich nach folgender Anordnung wiederholt (Fig. 2). Auf einem Stativ befindet sich eine Mariottesche Flasche F mit einem zur Spitze ausgezogenen Glasröhrchen. etwa 1,5 m unterhalb befindet sich eine Kakaobüchse K. Sowohl die Flasche wie die Kakaobüchse sind mit je einem Elektroskop (E_1 und E_2 der Figur) leitend verbunden, während die Gefäße selbst isoliert aufgestellt sind. Wird nun die Luft des Zimmers, sagen wir negativ elektrisiert, und läßt man dann den Wasserstrahl fließen, so zeigen beide Elektroskope Ladungen an, und zwar erweist sich E_1 negativ und E_2 positiv geladen. Ich änderte nun den Versuch dahin ab, daß ich statt Wasser Sand nahm. Der Aufbau ist folgender: Am Boden des Versuchsraumes befindet sich eine Metallplatte von 30×25 qcm durch Paraffin- oder Siegellackklötzchen vom Boden isoliert. Die Metallplatte steht mit dem Elektroskop in leitender Verbindung. Die Luft wird positiv geladen und nun läßt man aus 1,5 m Höhe aus einem beliebigen Gefäß, das nicht isoliert zu sein braucht, Sand (Streu- oder Flußsand) und zwar in der Menge von etwa 100 ccm herabrieseln. Das mit der Metallplatte verbundene Elektroskop gibt negative Ladung an. Wird auch das Gefäß isoliert und mit einem Elektroskop verbunden, so erscheint das obere Elektroskop positiv geladen und das untere negativ, nachdem der Sand die positiv geladene Luftschicht durchfallen hat. Bei negativer Ladung der Zimmerluft verläuft die Erscheinung im entgegengesetzten Sinne. Das ist nun auffallend und veranlaßte mich zu weiteren

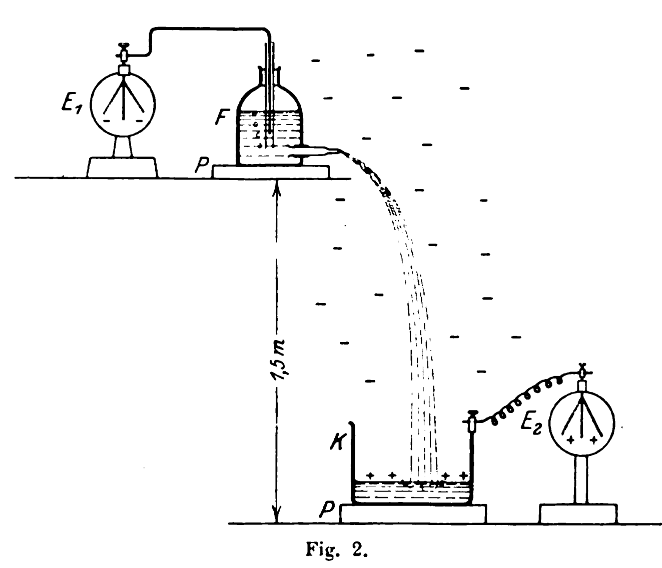


Fig. 2.

Versuchen, und zwar mit einem Sprühapparat oder Zerstäuber. Die Anordnung dieses Versuches zeigt Fig. 3. An der Kopfschraube eines Elektrometers E ist ein im rechten Winkel aufwärtsgebogener Kupferdraht angebracht und daran ein Löschblatt P befestigt. Ist die Luft im Zimmer positiv elektrisiert, so richte man aus dem Zerstäuber Z einen Sprühregen gegen das Löschblatt (P) und das Elektrometer zeigt fast augenblicklich starke negative Ladung an. Versuche mit anderem Material, Metall- oder Glasplatten, Holz- und Papierflächen an Stelle des Löschblattes, ergaben stets das gleiche Resultat, d. h. die gleiche Art der Ladung. Wurde dieser Versuch bei negativer Ladung der Zimmerluft mit den verschiedensten Gegenständen in gleicher Anordnung wiederholt, so zeigte das Elektrometer stets positive Ladung an.

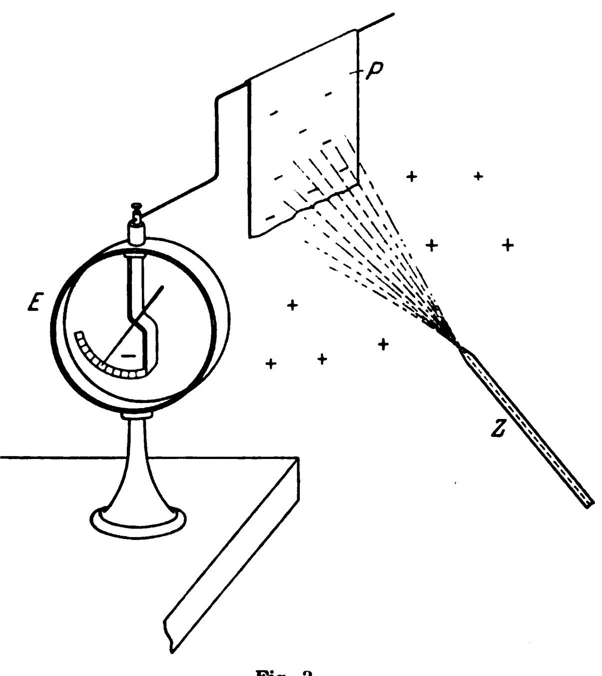


Fig. 3.

Auch an einer Wasserfläche läßt sich die Erscheinung zeigen. Hiezu genügt ein Porzellanteller T, der isoliert gestellt, und um störende Einflüsse auszuschalten, bis an den Rand mit Wasser gefüllt wird. Die Wasserfläche ist durch einen Draht mit dem Elektroskop E verbunden (Fig. 4). Die Luft wird z. B. negativ elektrisiert und hernach ein Sprühregen auf die Wasserfläche geblasen. Die Blättchen des Elektroskopes divergieren sofort, und zwar mit positiver Ladung. Umgekehrt bewirkt bei positiver Ladung der Luft ein Sprühregen auf die Wasserfläche deren negative Ladung. Versuche mit anderen Flüssigkeiten im Zerstäuber wie Alkohol, Äther erzielten das gleiche Ergebnis.

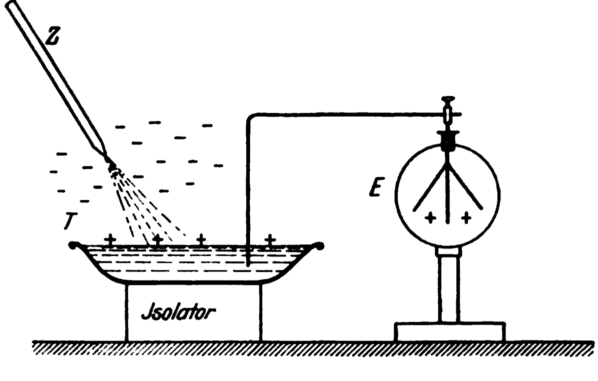


Fig. 4.

Die vorgeführten Erscheinungen, die auf einer Influenzwirkung des elektrischen Feldes gegenüber neutralen Körpern beruhen, werden auch in freier Atmosphäre sich einstellen. So werden Regentropfen[1]), Graupel- und Hagelkörner, welche eine positiv geladene Luftschicht durchfallen, mit negativer Ladung die Erde erreichen. Ein Teil der negativen Ladung an der Erdoberfläche, wird sich durch obige Erscheinungen erklären lassen.

Die hier vorgeführten Versuche scheinen wenig bekannt zu sein; zu ihrer Anstellung genügen die einfachsten, in jeder Sammlung vorhandenen Apparate.

[1]) Daß Wassertropfen durch das Fallen in ionisierter Luft negativ geladen werden, hat Schmauß (1902) nachgewiesen.

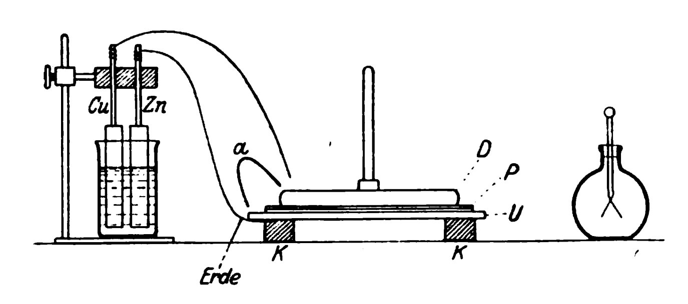


Elektrostatischer Nachweis der Spannung eines Elementes oder einer Starkstromleitung.

Von Prof. Dr. J. Krüger in Hamburg.

An die Elektrostatik anknüpfend, pflegt man bei Besprechung der kontaktelektrischen Fundamentalerscheinungen sich eines hochempfindlichen Kondensatorelektroskops zu bedienen. In Ermangelung eines solchen kann man auch ein gewöhnliches Elektroskop in Verbindung mit einem Elektrophor verwenden. Man ersetzt die Hartgummischeibe, die für diesen Zweck einerseits zu dick ist, andrerseits sich schwer gänzlich unelektrisch machen läßt, durch eine Papierscheibe (P) von gleicher Größe. Am besten als isolierende Zwischenschicht geeignet fand ich Filtrierpapier, weniger brauchbar Seidenpapier. Da die Unterseite des Elektrophordeckels gewöhnlich eine schwache Wölbung besitzt, empfiehlt es sich, die biegsame Unterlage U durch Klötze am Rande oder (bei konkaver Krümmung des Deckels) durch einen Klotz in der Mitte hohl zu stellen. Wenn man dann den Deckel stark andrückt, schmiegt die Unterlage sich gut an, wodurch die Kapazität wesentlich erhöht wird.

Zum Nachweis der Spannung eines Elementes verbindet man zunächst den Deckel D und die Unterlage U (Fig. 1) durch den Draht a und bringt nach Entfernung des Drahtes den Deckel mittels des isolierenden Griffes ans Elektroskop, um die Abwesenheit jeder Ladung zu zeigen. Diese Kontrolle ist überhaupt jedesmal unmittelbar vor dem Nachweis irgendwelcher Potentialdifferenzen auszuführen. Sollte sich beim Kontrollversuch ein Ausschlag des Elektroskops zeigen, so rührt er gewöhnlich von einer elektrischen Ladung der Papierschicht her; es genügt dann, um dieselbe unelektrisch zu machen, sie einige Sekunden in der Luft hin und her zu bewegen.



Verbindet man D und U unter Zwischenschaltung eines Elementes, wie in der Skizze angedeutet, so zeigt das Elektroskop deutlich positive bzw. negative Ladung. Der fundamentale Nachweis der bei Berührung zweier Metalle unter Ausschluß eines Leiters zweiter Klasse auftretenden Potentialdifferenz läßt sich nur dann zeigen, wenn Deckel D und Unterlage U selbst aus diesen Metallen bestehen, da bei der Kombination von Metallen die Potentialdifferenz der Endglieder nur von diesen selbst abhängt.

Einen eindrucksvollen Versuch bildet das Aufladen des Kondensators durch Anschluß der Platten an die Pole der Lichtleitung, natürlich unter Zwischenschaltung eines ausreichenden Widerstandes, um einen bedenklichen Kurzschluß zu vermeiden. Bei 110 Volt Spannung erhielt ich auf diese Weise mit einem Elektrophordeckel von 25 cm Durchmesser beim Abheben des Deckels Funken von 5—10 mm Länge, also Spannungen bis zu etwa 30000 Volt. Im Anschluß hieran zeigte sich das Papierblatt beträchtlich geladen, die Einrichtung wirkte als geladener Elektrophor. Um bei diesen Versuchen die volle Wirkung, d. h. Funkenentladungen, zu erhalten, ist es nötig, den Deckel, nachdem der die Ladung zuführende Draht entfernt ist, sehr rasch abzuheben, da sonst ein beträchtlicher Teil der Ladung durch das Papier entweicht. Bei 110 Volt genügt es, wenn man nur am Elektroskop einen starken Ausschlag erzielen will, den Elektrophordeckel während der Aufladung unter Fortlassung der Papierscheibe in 2—5 mm Entfernung freihändig über der Unterlage zu halten.

Eine kreisförmige Scheibe vom Radius a hat (die Dielektrizitätskonstante 1 des umgebenden Mediums vorausgesetzt) in beträchtlicher Entfernung von Körpern, durch



die Influenzwirkungen entstehen können, die Kapazität $\frac{2a}{\pi}$ [1]); ferner ist die Kapazität eines kreisförmigen Plattenkondensators vom Radius a und dem Plattenabstand d, wenn d sehr klein gegen a ist, gleich $\frac{a^2}{4d}$ [2]). Die Anwendung dieser Beziehungen auf unsern Plattenkondensator lehrt, daß durch Abheben des Elektrophordeckels die Kapazität des Systems etwa im Verhältnis $\frac{2a}{\pi} : \frac{a^2}{4d} = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{d}{a}$ verkleinert, also die Spannung der im Deckel befindlichen Ladung im Verhältnis $\frac{\pi}{8} \cdot \frac{a}{d}$ vergrößert wird. Die Dicke der bei meinen Versuchen angewendeten Papierschicht ergab sich durch Ausmessen von 20 Lagen des Papiers mittels des Schraubenmikrometers zu 0,015 cm. Demnach war die relative Vergrößerung der Spannung $\frac{\pi}{8} \cdot \frac{12{,}5}{0{,}015} = \sim 330$, d. h. bei 110 Volt ergaben sich etwa 36000 Volt; diesem Wert entsprach, wie wir oben sahen, ungefähr die Funkenlänge.

Zum Schluß möchte ich noch besonders auf den Vorteil hinweisen, den die Verwendung eines Halbleiters wie Papier als Dielektrikum beim Nachweis geringer Potentialdifferenzen mit Hilfe des zerlegbaren Kondensators bietet: Die beim Kondensatorelektroskop gebräuchliche Lackschicht oder dünne Glimmer- oder Glastafel nimmt durch Reibung oder bei erstmaliger Ladung der Kondensatorplatten häufig störende Ladungen an und hält, wie wohl schon jeder beim Arbeiten mit dem Kondensatorelektroskop zu seinem Verdruß bemerkt hat, diese kleinen Ladungen eigensinnig fest. Die geringe Leitfähigkeit des Papiers dagegen genügt gerade, um das Entstehen solcher störender Ladungen zu verhindern, andrerseits wird, wie die Anwendung des Ohmschen Gesetzes auf den aus Element, Drähten, Kondensatorplatten, Papierschicht und Übergangswiderständen gebildeten Stromkreis zeigt, das Potential der das Papier berührenden Platten sich nur unmerklich von der zu messenden Klemmenspannung des offenen Elementes unterscheiden (nur muß, wie oben schon hervorgehoben wurde, nachdem die Verbindung mit der Stromquelle unterbrochen ist, der Deckel rasch abgehoben werden). Man kann sich hiervon überzeugen, indem man an die Platten des Kondensators etwa 110 Volt anlegt und parallel zum Kondensator ein Voltmeter schaltet. Es ergibt sich keine Abhängigkeit des Spannungsabfalls vom Plattenabstand, weder Aufheben des Deckels noch starkes Andrücken desselben auf die Papierschicht ist von Einfluß.

Es empfiehlt sich daher auch beim Kondensatorelektroskop die Verwendung einer Papierscheibe an Stelle des Lacküberzugs. Die Verwendung des Elektrophors ist durch die Größenverhältnisse didaktisch gerechtfertigt, kommt aber auch bei der jetzigen Schwierigkeit der Beschaffung von Unterrichtsapparaten als „Kriegsersatz" in Betracht.

Apparat zur Veranschaulichung des Projektionssatzes der Mechanik.

Von Oberlehrer W. Kisse in Berlin-Schmargendorf.

Der in Fig. 1 abgebildete Apparat dient zur Veranschaulichung des Satzes: Wirkt auf einen längs einer Geraden leicht beweglichen Körper eine Kraft K, deren Richtung mit der Bewegungsrichtung den Winkel α einschließt, so kann man die Kraft durch eine andere, in der Bewegungsrichtung wirkende ersetzen, deren Größe K' gleich dem Produkt $K \cdot \cos \alpha$ ist.

[1]) Müller-Pouillet, Lehrb. d. Phys. u. Met. Bd. IV, 1. Abt. § 88.
[2]) Daselbst § 90.



Der Apparat (Fig. 1) besteht aus einem 70 cm hohen Bock, dessen horizontaler Oberteil ein 70 cm langes, 10 cm breites und 2 cm dickes Brett ist, das zwei Führungsschienen für den Wagen W trägt und zur Durchführung der Zugschnur einen 48 cm langen Schlitz von 1 cm Breite hat. Die Führung des auf Stahlkugeln KK von ~ 2 cm Durchmesser laufenden 30 cm langen Wagenbrettes ist aus der Durchschnittszeichnung Fig. 2 ersichtlich. Die Stahlkugeln laufen in Rinnen, die aus je zwei

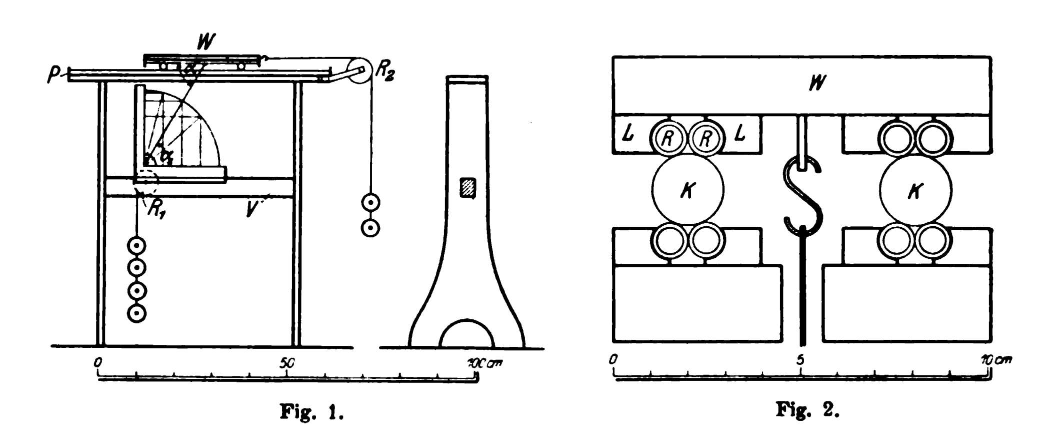


Fig. 1. Fig. 2.

Glasrohren RR von 9 mm Durchmesser bestehen; diese sind mittelst sorgfältig ausgefräster, aufgeschraubter Leisten LL aus weichem Holz festgeklemmt. Die Gleise am Wagenbrett sind ebenso beschaffen; das Brett selbst ist 30 cm lang und $1^1/_2$ cm dick; es trägt zwei Ösen zum Befestigen der Zugschnüre, von denen jede über eine in Spitzen laufende Rolle $R_1 R_2$ führt. Um die Gleichgewichtslage auswerten zu können, befindet sich auf der horizontalen Versteifungsleiste V ein verschiebbarer Viertelkreis, dessen Grundbrett die Leiste zum Teil umfaßt, wie dies Fig. 3 zeigt. Um einen möglichst großen Spielraum für den Winkel α zu haben, befestige man die Rolle R_1 im Schlitz der Versteifungsleiste (Fig. 3) so hoch, daß der horizontale Radius des Viertelkreises fast Tangente der Rolle wird. Vielleicht empfiehlt es sich, für drei besondere Fälle den Verlauf der Schnur auf der Scheibe vorzuzeichnen, nämlich für cos α gleich $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$ und $\frac{3}{4}$; entsprechend den Gewichtsverhältnissen 1 : 4, 2 : 4 und 3 : 4; alsdann ist die Richtigkeit des Satzes für diese drei Fälle ohne weiteres ersichtlich.

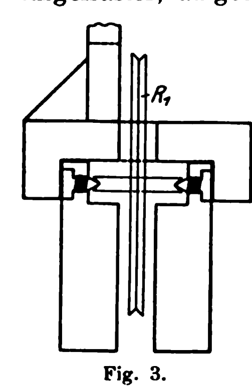


Fig. 3.

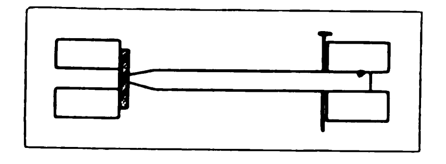
Um das Herunterrollen der Kugeln zu vermeiden, sind an den Enden der Rinnen Platten angeschraubt. Die Einstellung ist infolge der Beweglichkeit des Wagens eine sehr scharfe. Hauptbedingung ist, daß die Laufrohre horizontal sind und in ihrer ganzen Länge denselben Durchmesser haben. Man wähle daher aus einem großen Posten solcher Rohre mit dem Mikrometer die besten aus.

Für die Praxis.

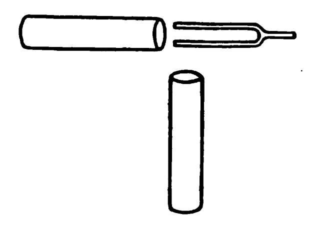
Zum Gebrauch des Grimsehlschen Apparates für Zusammensetzung von Bewegungen. Von **H. Rebenstorff** in Dresden. Die schräg aufzustellende Tafel mit darauf verschiebbarer Glasplatte veranschaulicht durch die bei den einzelnen Verschiebungen gemachten Farbstiftstriche in ausgezeichneter Weise die Zusammensetzung

von Bewegungen (*diese Zeitschr.* **17**, *257*). Beim Gebrauche treten indessen dadurch Erschwerungen auf, daß beim Verschieben der Glasplatte infolge der starken Reibung auf der Unterlage diese ganz und gar mit fortgenommen wird. Da man beide Hände für Farbstift und Platte gebraucht, so muß eine Hilfskraft die schräge Holztafel festhalten, was aber das Hantieren, sowie das Beobachten der einfachen Vorführung etwas stört. Ich habe deswegen zwei kurze Ringgriffschrauben in ein für allemal gebohrte Löcher der Tischplatte eingebracht, die als Widerlager für die eine rückwärtige Stütze der Holztafel dienten. Auch dann bleibt die Glasplatte aber noch so schwer verschiebbar, daß man mit dem Zeichenstift leicht unbeabsichtigte Exkurse vollführt. Hiergegen geben eine gute Hilfe einige Körner Bleischrot von 2—3 mm, die auf der unteren Längsleiste der Holztafel verteilt werden, so daß die Glasplattenkante darauf entlang rollt.

Die Kraft der Ausdehnung durch die Wärme. Von **F. Queißer** in Tetschen a. E. In dem Bestreben, die vorhandenen Apparate der Sammlung möglichst vielseitig zu verwenden, gestaltete ich mir die wohl an den meisten Anstalten vorhandene Vorrichtung, um die Kraft der Zusammenziehung bei Abkühlung eines Eisenstabes zu zeigen, so um, daß sie auch für das Gegenteil verwendbar ist. Bei dem genannten Apparate ruht bekanntlich ein mit einer kräftigen Öse und starken Schraube versehener vierkantiger Eisenstab in einem Eisengestell mit zwei Lagern. Letzteres findet nun hier Verwendung. Ein eiserner Rundstab, der in die Lager hineinpaßt, wird etwa 1 bis 2 cm von dem einen Ende mit einem Loch versehen, daß man einen starken Nagel hindurchstecken kann. Das andere Ende mag etwas kegelförmig zugefeilt werden. Der Stab wird nun so lang bemessen, daß man zwischen das eine Lager und das Stabende eben noch ein Stückchen 3—4 mm dicke Glasscheibe einlegen kann, während sich der durch das Loch gesteckte Nagel an das andere Lager anlehnt. Vorsichtshalber überdeckt man noch die Seite mit dem Glasstückchen mit einer passend ausgeschnittenen Schachtel. Erwärmt man nun den Eisenstab kräftig, so zeigt ein bald erfolgender Knall das Zertrümmern der Glasscheibe an. Ein weniger geräuschvoller Versuch besteht darin, daß man in eine Bleiplatte einen Münzabdruck einprägen läßt, ein Versuch, dessen Ausführung nach dem Vorangehenden wohl ohne weiteres klar ist.



Zum Interferenzapparat nach W. Volkmann. Von **J. Zahradníček** in Kremsier (Mähren). Einen schönen und einfachen Interferenzversuch beschreibt Dr. W. Volkmann in seiner „Anleitung zu den wichtigsten physikalischen Schulversuchen“ S. 147, Berlin 1912. Zwei auf eine Stimmgabel abgestimmte, auf einer Seite geschlossene Papprohre bilden miteinander einen rechten Winkel. Vor die Öffnungen in den Scheitelpunkt des rechten Winkels kommt die Stimmgabel — dem einen Rohre näher als dem anderen —, so daß die Achse der Stimmgabel mit der Achse des näheren Rohres zusammenfällt und die Zinken senkrecht zu der Achse des anderen Rohres zu stehen kommen.



In unseren Schülerübungen wurde dieser Apparat folgendermaßen zusammengestellt: Eine Holzplatte (15 cm × 15 cm × 1 cm) wird auf eine andere (30 cm × 15 cm



$\times$ 1 cm) senkrecht gestellt. In der Mitte der quadratischen vertikalen Platte ist ein massiver Zylinder von Holz ($2r = 5$ cm, $h = 20$ cm) — mit der Achse zu der größeren Platte parallel — befestigt und auf diesen Holzzylinder wird ein Lampenzylinder ($l = 33$ cm) geschoben. Es sind zwei solche Apparate nötig.

Die Lampenzylinder werden zuerst auf die Stimmgabel (a^1) abgestimmt, indem dieselben solange verschoben werden, bis die Resonanz die größte Stärke erhalten hat, und dann werden beide Apparate in die richtige Stellung gebracht. In unserem Falle waren die freien Enden der Lampenzylinder etwa 2 cm und 4 cm von dem Scheitelpunkte des rechten Winkels entfernt. Die Lampenzylinder verstärken einzeln den Ton der Stimmgabel, wie man sich leicht überzeugen kann, indem man den einen oder den anderen Zylinder durch ein Blatt von Karton verschließt, wendet man sie aber gleichzeitig an, so wird der Ton abgeschwächt, oder er verschwindet völlig. Man muß nur die richtige Stellung der Rohre zur Gabel ausfindig machen.

Nebenschluß zum Demonstrationsgalvanometer von Max Kohl. Von **A. Glogger** in Landshut i. B. Beim Benützen des Demonstrationsgalvanometers von Kohl in Chemnitz habe ich es als unangenehm empfunden, daß nur Ströme von 0 bis 0,002 Amp. und von 0 bis 10 Amp. gemessen werden können.

Um den Zwischenraum zu überbrücken, habe ich mir, angeregt durch den Nebenschlußwiderstand nach Ayrton, nebenstehenden Nebenschluß (Fig. 1) selbst hergestellt, der mit den Biegungen O_1 und O_2 an den Klemmen „Galv.“ befestigt werden kann.

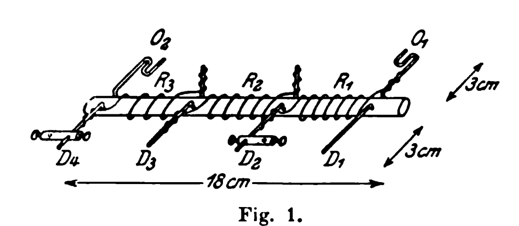


Fig. 1.

Durch vier Bohrungen eines Hartgummistabs sind vier dicke Kupferdrähte D_1, D_2, D_3, D_4 (2 mm Durchmesser) gezogen, entsprechend gebogen und mit Hilfe von Schraubstock und Hammer eng an den Hartgummistab angedrückt. Zwischen diesen dicken Drähten sind um den Hartgummistab die Widerstandsdrähte (umsponnene Konstantandrähte) gewickelt.

$R_1 = 22{,}5\ \Omega$ besteht aus einem Draht von 0,1 mm Durchmesser und 0,353 m Länge; $R_2 = 2{,}25\ \Omega$ besteht aus zwei parallel geschalteten Drähten von 0,2 mm Durchmesser und je 0,283 m Länge; $R_3 = 0{,}25\ \Omega$ besteht aus drei parallel geschalteten Drähten von 0,3 mm Durchmesser und je 0,106 m Länge.

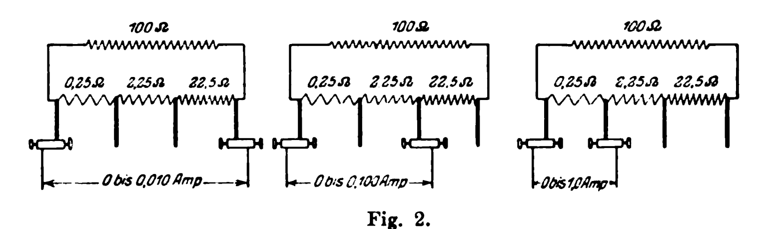


Fig. 2.

Dadurch, daß man die Konstantandrähte in verschiedenem Abstand vom Stab an die etwas länger gehaltenen Kupferdrähte heranlaufen lassen kann, ist die Möglichkeit geboten, genau die Drahtlänge einzurichten bezw. sie beim Eichen etwas zu ändern.

Bei dem Widerstand von 100 Ω in der Galvanometerspule ergeben sich für die einzelnen Schaltungen nebenstehende schematische Darstellungen (Fig. 2), die den drei Meßbereichen 0 bis 0,010, 0 bis 0,100 und 0 bis 1,000 Amp. entsprechen.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Versuche über Kohäsion und Kohäsionsdruck in Flüssigkeiten. Über diesen Gegenstand hat zwischen C. Steinbrinck und A. Weinhold im Jahrgang 1904 (Bd. 17) dieser Zeitschrift eine Auseinandersetzung stattgefunden. Neuerdings veröffentlichte C. Steinbrinck auf Grund der inzwischen von mehreren Forschern angestellten neuen Versuche eine zusammenfassende Darstellung des jetzigen Standes der Frage unter dem Titel: „Über die Kohäsion von Flüssigkeiten im Zusammenhang mit wichtigen botanischen und physikalischen Fragen" (*Monatshefte f. d. naturwiss. Unterr. XI, 1918, Heft 5 u. 6*).

Versuche von Botanikern (Straßburger, Askenasy) hatten ergeben, daß Wasser in lebenden Pflanzen bis zu 20 m Höhe und darüber aufzusteigen vermag. Als Ursache hiervon wurde von den Dubliner Forschern Dixon und Joly (1893) die Kohäsionskraft des Wassers angesehen, auch Askenasy war zu dieser Auffassung gelangt und hatte durch einen interessanten Versuch gezeigt, daß durch diese Kohäsionskraft Quecksilber in einem engen Rohr zu größerer Höhe als der durch den Luftdruck erreichbaren emporgezogen werden kann. Die Überschreitung betrug 14 cm, bei späteren Versuchen anderer sogar bis 38 cm.

Über die Größe der Kohäsionskraft des Wassers liegen auch besondere Versuche von Berthelot aus dem Jahre 1850 vor, bei denen die Aufrechterhaltung des Volums einer eingeschlossenen Flüssigkeit bei starker Abkühlung dazu diente, die Grenze der Adhäsionskraft festzustellen. Diese wurde zu rund 50 Atmosphären ermittelt. Dixon und Joly wollen bei späterer Wiederholung der Versuche Werte bis 200 Atm. erreicht haben. Mit einer verbesserten Versuchsanordnung gelang es der Schwedin Eva Ramstedt (1908, 1910) und unabhängig von ihr dem Breslauer Physiker Jul. Meyer Messungen auszuführen, die für den Kohäsionsdruck Höchstwerte von 28 bzw. 34 Atm. ergaben. Es blieb indes unentschieden, ob damit die wahre Größe der Kohäsion gefunden sei.

Danach vermochten zwei Botaniker, Renner und Ursprung (1915), im Wasser Zugspannungen bis zu 300 Atm. nachzuweisen. Sie benutzten dazu die Sporangien einheimischer Farnkräuter, deren Wandung aus einem Ring von Zellen besteht, die bei der Reifung infolge von Verdunstung des eingeschlossenen Wassers die Außenwand in sich hineinziehen; infolgedessen wird der Ring gespannt, schnellt aber, sobald die Kohäsionskraft des Wassers überwunden ist, plötzlich zurück und schleudert die Sporen aus dem Innenraum heraus. Um die Kohäsion der Flüssigkeit zu messen, benutzten nun die Genannten den thermodynamischen Satz, daß die Dampfspannung einer Flüssigkeit vom Unterdruck P derjenigen einer Lösung vom osmotischen Druck P gleich ist, wobei als Unterdruck der von 1 Atm. an abwärts gezählte Druck angenommen wird. Es wurde nun der Kohäsionsdruck des Zellsafts mit dem osmotischen Druck einer Salzlösung von gleicher Dampfspannung verglichen. In einem kleinen, zur mikroskopischen Betrachtung geeigneten Behälter waren die Farnsporangien auf einer Glasplatte ausgebreitet, die sich oberhalb der Salzlösung befand. Durch Vermehrung des Salzgehaltes der Lösung wurde die Dampfspannung über dem Präparat so weit erniedrigt, bis die ringförmigen Wände der Sporangien konkav wurden und endlich auseinander schnellten. Dies geschah vollständig erst bei einer Lösung von der Sättigung 0,9, der ein osmotischer Druck von 323 Atm. entsprach; damit war für die gewählte Farnart ein Maß des Kohäsionsdrucks gefunden; bei anderen Arten kann man bis 0,95 Sättigung und 350 Atm. Kohäsionsdruck kommen.

Beobachtungen über das Schrumpfen und Schwellen von Pflanzengeweben, ersteres durch Überschreitung der Kohäsions- und Adhäsionsgrenze, letzteres durch erneute Flüssigkeitszufuhr bedingt, geben noch zu weiteren physikalischen Erörterungen Anlaß. Wie oben schon angegeben, verhält sich eine Zelle vom osmotischen Druck P hinsichtlich des Dampfdruckes genau so wie eine Zelle mit reinem Wasser vom Unterdruck P. Dasselbe wird nun auch für die Saugkraft gelten. Der osmotische Druck wird bekanntlich durch die Stöße der gelösten Moleküle erklärt, denen die umgebende Membran den Austritt verwehrt, wohingegen sie reines Wasser durchläßt. Die von innen ausgeübten Stöße üben aber auf die Flüssigkeitsoberfläche von innen her dieselbe Wirkung aus, wie von außen her der Zug einer infolge von Kohäsionsdruck zusammenschrumpfenden Membran. Demnach liegt der Gedanke nahe, daß auch bei der Endosmose das Lösungsmittel infolge der Kohäsion in die osmotische Zelle hineingezogen werde; erst wenn in ihr der Unterdruck ausgeglichen ist, fällt die Ursache des Wassereintritts weg und es tritt ein Gleichgewichtszustand ein. Diese Auffassung findet auch eine Stütze in der Abhandlung von G. Jäger über die kinetische Theorie des osmotischen Druckes (*Wien. akad. Ber. Bd. 132a, Abt. IIa, 1913*).

Die Frage der Theorie des Schenkelhebers, die den Anstoß zu den ersten Veröffentlichungen von C. Steinbrinck gegeben hat, dürfte heute in dem Sinne entschieden sein, daß dabei der Kohäsions- oder Binnendruck von wesentlicher

Bedeutung ist. Als treibende Kraft ist das Übergewicht des längeren Flüssigkeitsschenkels anzusehen, während der Luftdruck nur statisch wirkt, insofern er das Zerreißen der Flüssigkeit verhindert, m. a. W. ihre Kohäsion sichert. Dieser Auffassung ist u. a. auch Grimsehl in seinem Lehrbuch beigetreten. Einer Idee von A. Weinhold folgend hat der Glasbläser E. Gundelach zu Gehlberg i. Th. unter Mitwirkung von Steinbrinck einen „Vakuumüberheber“ hergestellt, dessen luftleeres Innere Quecksilber und ausgekochtes Wasser enthält, und in dem die Hubhöhe des Quecksilbers einem Druck von 5 Atm. entsprach. (Man vergl. *diese Zeitschr. 17, S. 152 und 282*.)

Wegen der mannigfaltigen biologischen Betrachtungen, die sich hier noch anschließen, sei auf den Aufsatz selbst verwiesen. Dem Verfasser zufolge ist jetzt wohl allgemein zugegeben, daß die Kohäsion beim Saftsteigen mindestens als ein wesentlicher Faktor mit in Betracht kommt.

P.

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Photophorese. Von F. Ehrenhaft[1]). Die von dem Verf. zuerst der Forschung zugänglich gemachten submikroskopischen Kügelchen von 10^{-4} bis 10^{-6} cm Radius (*diese Zeitschr.* ***30,*** *38*) zeigten sich als sehr empfindlich für intensive Strahlung. Nach den früheren Versuchen erfolgt die Bewegung eines solchen Körperchens im widerstehenden Mittel gleichförmig; seine Geschwindigkeit ist der auf ihr wirkenden Kraft proportional. Die Proportionalitätskonstante ist die „Beweglichkeit“, die nach verschiedenen optischen und mechanischen Verfahren bestimmt werden kann. Die Teilchen wurden in der früher beschriebenen Weise erzeugt und traten in einen zwischen horizontalen Kondensatorplatten liegenden Raum, der von den konzentrierten Strahlen einer Bogenlampe durchsetzt wurde. Ein Wasserkasten und die Glasteile des Lichtweges beseitigten die ultraroten und ultravioletten Strahlen, so daß nur Wellenlängen zwischen $4 \cdot 10^{-5}$ und $12 \cdot 10^{-5}$ cm eintraten, deren Intensitätsmaximum bei $7 \cdot 10^{-5}$ cm liegt. Die mittlere Energiedichte dieser Strahlen war an der Stelle der größten Einschnürung des Strahlenkegels 327 mal größer als die Energiedichte der unkonzentrierten Sonnenstrahlen. Es wurden nun zunächst zwei Grunderscheinungen beobachtet, wobei das elektrische Feld nicht eingeschaltet war. 1. Das Probekörperchen fiel, der Schwere folgend, mit konstanter Geschwindigkeit herab, geriet in den Strahlenkegel, wurde von diesem ein Stück in seiner Richtung fortgeführt und fiel dann, nach Austritt aus der Strahlung, wieder lotrecht herab. Dieses Verhalten zeigten Gold, Silber, Quecksilber, Terpentinruß, Kampferqualm usw. 2. Das Probekörperchen fiel herab, bewegte sich aber nach Eintritt in den Strahlenkegel in entgegengesetzter Richtung, also dem Lichte zu, um beim Austritt wieder lotrecht herabzufallen. Dieses Verhalten zeigten Schwefel, Selen, Salpetersäuretröpfchen, Nebeltröpfchen Rauchpartikeln von Tabak und Holz usw. Der Verf. bezeichnet diese Mitführung als Photophorese und die Probekörper der ersten Art als lichtpositiv, die der zweiten Art als lichtnegativ. Durch zwei übereinanderliegende entgegengesetzt gerichtete Strahlenbündel konnten die Teilchen in eine ⊂-förmige Bahn gebracht werden. Es gab auch lichtneutrale Teilchen, die sich unter dem Einfluß der Strahlen gar nicht bewegten, z. B. Wassernebel in Sauerstoff oder Wasserstoff usw. In einem Gemisch lichtpositiver und lichtnegativer Teilchen wurden durch die intensive Strahlung die voneinander verschiedenen Stoffe einander entgegengeführt. Selen, zunächst lichtnegativ, geht bei hoher Temperatur in eine allotrope Modifikation über, die lichtpositiv ist. Die Photophorese war von einer elektrischen Ladung der Probekörperchen unabhängig, so daß die Untersuchungen auch im elektrischen Felde vorgenommen werden konnten. Es wurde dann die Fallbewegung durch das Feld aufgehoben, das Kügelchen gewissermaßen im Raume frei aufgehängt, und die Geschwindigkeit der allein durch die Strahlung bewirkten Bewegung konnte direkt gemessen werden. Durch Erniedrigung des Gasdruckes wurde die Geschwindigkeit erhöht, von der Art des Gases aber war sie unabhängig. Sehr abhängig war die Geschwindigkeit von der Größe der Teilchen, die aus der Farbe des abgebeugten Lichtes bestimmt wurde. So nahm bei Silberteilchen die Geschwindigkeit von dem den kleinsten Teilchen zugehörigen Werte von $2 \cdot 10^{-3}$ cm/sec an zu, erreichte bei Teilchen mittlerer Größe ein Maximum von $18 \cdot 10^{-3}$ cm/sec, um bei den größten Teilchen wieder bis auf $7 \cdot 10^{-3}$ cm/sec abzunehmen. Um festzustellen, ob die beschriebene Bewegung allein auf die Strahlung oder auch auf Einflüsse des umgebenden Gases zurückzuführen sei, wurden die Bewegungen der lichtpositiven Silberkügelchen von 10^{-5} cm Radius und die der lichtnegativen Schwefelteilchen von $2 \cdot 10^{-5}$ cm bei abnehmendem Gasdruck verfolgt. Bei beiden war die Konstanz der photophoretischen Kräfte geradezu erstaunlich; ihre Größenordnung betrug bei den Silberkugeln 10^{-10} Dyn., bei den Schwefelkugeln $1,3 \cdot 10^{-10}$ Dyn. Die photophoretischen Kräfte sind also vom Druck des umgebenden

[1]) *Ann. d. Physik* ***56,*** *81 (1918).*



Gases nicht abhängig. Die positive Photophorese muß hiernach als alleinige Wirkung des Lichtdruckes angesehen werden. Nach einer Theorie von **Schwarzschild** muß dies Verhältnis des Lichtdruckes zur einfallenden Energiemenge für eine bestimmte Wellenlänge mit kleiner werdendem Kugelradius ansteigen, ein Maximum erreichen und dann wieder abnehmen; bei $\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$ cm tritt das Maximum ein für vollkommen reflektierende Kugeln vom Radius $10 \cdot 10^{-5}$ cm, für Silberkugeln vom Radius $9{,}5 \cdot 10^{-5}$ cm. Dieser Theorie entspricht die Beobachtung des Verf., nach der das Maximum der Geschwindigkeit bei Kugeln von bestimmter Farbe, d. h. einer bestimmten Größe auftrat. Der Radius dieser Kugeln, für die der Strahlungsdruck ein Maximum ist, berechnet sich zu $9{,}8 \cdot 10^{-6}$ cm, eine Zahl, die mit den aus der Farbe und dem Widerstandsgesetze erhaltenen Werten (9 bzw. 9,9) nahezu übereinstimmt. Man hat so drei voneinander unabhängige Wege zur Größenbestimmung jener submikroskopischen Teilchen.

Die lichtnegative Photophorese von Schwefel- und Selenpartikeln wurde genauer von Irene Parankiewicz untersucht [1]). Die Größe der photophoretischen Kräfte war auch hier von der Beschaffenheit und dem Druck des Gases unabhängig: es handelt sich also um eine direkte Einwirkung der Strahlung auf die Materie. Die Wirkung erreichte bei gelblichen Schwefelteilchen von der Größe $27{,}8 \cdot 10^{-5}$ cm ein Maximum. Sehr eigenartig verhielt sich das Selen. Es wurde in einem Kugelrohr bis zum Siedepunkt erhitzt; die Dämpfe kondensierten sich zu Kügelchen von blauer, grüner, gelber, roter Farbe und großer Empfindlichkeit gegen die Strahlung. Anfangs waren die Teilchen lichtnegativ; nach längerer Erwärmung traten auch lichtpositive Teilchen von großer Geschwindigkeit auf. Das Maximum der lichtnegativen Wirkung trat auf bei Kügelchen von $15 \cdot 10^{-6}$ cm Radius; die hierbei wirkende Kraft war etwa 6 mal größer als die Kraft desselben Strahles auf ein Schwefelteilchen von gleicher Beweglichkeit. In welcher Weise die Strahlung die lichtnegative Wirkung hervorbringt, hat noch nicht erklärt werden können. *Schk.*

Kolloide und Kolloidforschung. Hiervon handelt ein kurzer Aufsatz von Prof. Dr. H. Bechtold, dem Leiter des Instituts für Kolloidforschung in Frankfurt a. M. (*Die Umschau, 22. Jahrg., 1918*).

Das Wort Kolloid ist von dem Engländer Graham (1861) anläßlich seiner Studien über leimartige Stoffe (griech. *Kolla* = Leim) geprägt worden. Heute umfaßt der Begriff Kolloid eine außerordentlich viel größere Gruppe von Stoffen, von denen die leimartigen nur eine kleine Unterabteilung bilden. Die Welt der chemischen Moleküle umfaßt eine Größenordnung von 0,1 bis 1 $\mu\mu$, andererseits haben die kleinsten mit dem Mikroskop noch beobachtbaren organischen Wesen (Bakterien u. a.) einen Durchmesser von etwa 1 μ. Das ganze Gebiet zwischen diesen beiden, also von 1 μ bis 1 $\mu\mu$ ist das Gebiet der Kolloide, d. h. von der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit bis zur Größe von etwa $^1/_{300}$ Lichtwellenlänge. Die Welt der Moleküle ist dadurch der Forschung zugänglich, daß man die aus ihnen zusammengesetzten chemischen Substanzen rein darstellen, daß man sie kristallisieren und destillieren kann. Dies Verfahren versagt fast durchweg bei den Kolloiden, und ebensowenig kann man sie mikroskopisch untersuchen. Gleichwohl muß der Forscher suchen, sie in „Kolloidelemente“ zu zerlegen. Es gibt Kolloide von einheitlichem chemischem Bau (Eiweißkörper) und solche, die aus einer ungeheuren Zahl getrennter gleichartiger Moleküle bestehen (Emulsionen, z. B. Lysol, Milch), endlich auch halbstarre Kolloide (Gallerten) und feste Kolloide (Glas, Kunstseide). Die vollendetsten kolloiden Gebilde sind die Organismen, die auch die wichtigsten kolloiden Stoffe für das tägliche Leben (Pelz, Papier, Seife, Gummi, Stärke, Harz) liefern. Der angewandten Kolloidchemie gehört endlich auch die Industrie der Konserven und Ersatznahrungsmittel an.

Ein Beispiel der ausgedehnten Anwendbarkeit der Erkenntnisse der Kolloidchemie liefert die Eigenschaft der „Kolloidelemente“, daß sie (im Gegensatz zu den chemischen Elementarbestandteilen) Oberflächen im physikalischen Sinne besitzen, also durch eine Grenzfläche, hinter der eine Masse wirkt, gegen ihre Umgebung abgeschlossen sind. Hierauf beruht ihre Eigenschaft, gelöste und suspendierte Stoffe anzuziehen, und zwar um so mehr, je größer ihre Oberfläche, je feiner also das Pulver ist. Aus dieser Erkenntnis ist z. B. unsere Kriegsseife entstanden, die 75 % feinpulverigen Ton enthält und ebenso wie die ebenfalls kolloidale Seifenlösung in hohem Grade Schmutzstoffe anzuziehen und festzuhalten vermag, ähnlich wie Kohle, Bleicherde usw. zum Klären von Öl und Fett, Eiweiß und Gelatine zum Klären von Wein und Bier benutzt werden. Ebensolche Adsorptionswirkungen spielen eine Rolle bei der Anreicherung des Bodens, insbesondere des Humus, mit Nährstoffen. Die Untersuchung dieser Wirkungen ist daher auch wertvoll für Landwirtschaft und Gartenbau. Ferner treten sie auf bei der Färbung der Textilfaser, bei der Bekämpfung von Magen- und Darmaffektionen mit feinen Pulvern von Kohle und Bolus, wobei die Krankheitserreger durch Adsorption unschädlich gemacht werden.

[1]) *Ann. d. Physik* **57**, *489 (1918)*.



Ein anderes Beispiel bietet das Gebiet der kolloiden Metalle, die ebenfalls für die Medizin ungemein wichtig geworden sind. Während Quecksilber und Silber in ihren löslichen Verbindungen überaus giftig, weil zellschädigend, wirken, sind sie in überaus feiner Verteilung geeignet, Krankheitserreger zu vernichten, ohne dem menschlichen Organismus selbst zu schaden. Kolloidales Silber (Kollargol) und kolloidales Quecksilber (Hyrgol) sind wertvolle Heilmittel geworden, doch dürfen die Metallteilchen in ersterem keinen größeren Durchmesser als 15 bis 25 $\mu\mu$ haben, weil sie sonst im Blut ausflocken und die Kapillaren verstopfen. Nur der Kolloidforscher vermag die Geeignetheit des Mittels festzustellen.

Da die Kolloide die „Brücke zwischen der unbelebten Welt der chemischen Moleküle und der Welt der Organismen“ sind, so eröffnet sich auch die Aussicht, durch die Kolloidchemie dem Geheimnis der Entstehung organischer Gebilde näher zu kommen. Es gibt Organismen von solcher Kleinheit, daß sie mit dem Mikroskop nicht erkennbar sind, so die Krankheitserreger von Scharlach, Pocken u. a. Diese gleichwohl filtrierbaren Organismen müssen schon einen hochkomplizierten Bau haben, der „Elementarorganismus“ muß daher noch viel einfacher und viel kleiner sein.

Aus dem Gesagten sind die bedeutenden Aufgaben eines Instituts für Kolloidchemie in biologisch-medizinischer, wie in industrieller Hinsicht ersichtlich. Deutschland hat auch auf diesem Gebiet die Führung übernommen. *P.*

4. Unterricht und Methode.

Der Chemieunterricht an den höheren Schulen. Unter diesem Titel hat Prof. Dr. Alfred Stock vom Kaiser-Wilhelm-Institut, Berlin-Dahlem, einen temperamentvoll geschriebenen Aufsatz in der *Zeitschr. f. angew. Chemie (31, Nr. 80 u. 83, Okt. 1918)* veröffentlicht, der das weiteste Interesse verdient. Dieser Veröffentlichung waren bereits im Februar 1918 zwei Vorträge des Verf. über das gleiche Thema vorangegangen: der eine in der Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, die die Fachlehrer Groß-Berlins versammelt hatte, der andere im Philologen-Verein, um auch die nichtfachlichen Kreise von der Notwendigkeit gewisser Maßnahmen zu überzeugen; in beiden Versammlungen schloß sich eine lebhafte Aussprache über das Thema an. Dem nachfolgenden Bericht liegt hauptsächlich die genannte Veröffentlichung zugrunde.

Der Verfasser geht vom Weltkrieg aus, der die deutsche Chemie vor Riesenaufgaben stellte, die aber in Zukunft noch gewaltiger sein werden. „Unser Chemikerheer an Zahl und Schlagfertigkeit auf der Höhe zu halten, ist eine Lebensnotwendigkeit für unser Volk.“ An die erste wichtigste Aufgabe, nämlich die Förderung und den Ausbau des Hochschul-Chemieunterrichts schließt sich die Vervollkommnung des Schul-Chemieunterrichts, dem der Verf. eine außerordentliche Bedeutung für die Gesamtlage der deutschen Chemie beimißt. „Nur über die S c h u l e n kann die Kenntnis von der Chemie und von der ungeheuren Bedeutung, welche die Chemie heutzutage besitzt, so in unser Volk dringen, wie man es wünschen muß. Nur mit Hilfe der S c h u l e n ist dem unglaublichen Zustande ein Ende zu machen, daß die Chemie, die sich im Sturme die Welt eroberte, für viele unserer Volksgenossen, einschließlich der sogenannten Gebildeten, noch immer ein Buch mit sieben Siegeln ist, wie zur Zeit der Alchemisten. Nur die S c h u l e n liefern uns die Rekruten für unser Chemikerheer . . .“ Unter Beschränkung der Betrachtungen auf die höheren Schulen bespricht dann der Verf. die allgemeinen Ziele des Unterrichts und untersucht, wie es sich hinsichtlich der drei Ziele allen Unterrichts — nämlich 1. der allgemein-erzieherischen Wirkung, 2. der Übermittlung der fürs Leben notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten, der sog. allgemeinen Bildung, 3. der Hinführung der Schüler zu einem ihnen liegenden Beruf —, mit dem Chemieunterricht verhält. Bezüglich des ersten Punktes tritt Stock für einen mehr humanistischen Unterbau mit realistischem Einschlag und für den Gedanken der „Gabelung“ auf der Oberstufe ein und spricht mit Recht dem Schul-Chemieunterricht „sofern er zweckmäßig erteilt wird und mit praktischen Übungen und Besichtigungen verbunden ist, in besonders hohem Grade die wertvollen erzieherischen Eigenschaften der realen Fächer“ zu. Denn dieser Unterricht entwickelt die praktischen Fähigkeiten, schärft die Beobachtungsgabe und alle Sinne, erzieht zur Gewissenhaftigkeit und weckt das Verständnis für die Fragen des wirtschaftlichen Lebens usw. Daher gehören heute zur „allgemeinen Bildung“ durchaus auch chemische Kenntnisse. Wer sich zu den Gebildeten rechnen will, muß künftig ebensogut etwas von der Chemie wissen, wie schon heute von der Physik.“ Hierfür kämpfte schon der unvergeßliche L i e b i g, von dem ein Strom von Anregungen sich ergoß, und ebenso trat die deutsche Unterrichtskommission dafür ein. Die bisher etwas vernachlässigte Aufgabe der „Hinleitung der Schüler zu dem geeignetsten Beruf“ ist für die deutsche Chemie in doppelter Hinsicht wichtig einmal mangelt es uns infolge der Verluste im

Kriege an tüchtigen Chemikern, dann aber sollen sich nur diejenigen dem Chemikerstudium zuwenden, die wirkliche chemische Begabung besitzen. „Es ist anzustreben, daß möglichst viele Berufene, aber auch nur solche[1]), Chemie studieren."

Die nunmehr für den eigentlichen Betrieb des Schul-Chemieunterrichts aufgestellten Forderungen und Ansichten decken sich erfreulicherweise vielfach mit dem, wofür Ref. in dieser Zeitschrift seit langen Jahren eingetreten ist. Vor allem tritt Stock grundsätzlich für einen mehr methodisch gearteten Unterricht ein. Der bisherige Unterricht krankt vielfach „an dem Grundfehler, daß er sich, statt eigene Wege zu gehen, den Hochschul-Chemieunterricht zum Muster nimmt und diesen nachzuahmen trachtet. Viel zu systematisch, ertrinkt er dann in der Fülle des Stoffes" und ist daher oft wenig geeignet, in den Schülern Freude und Begeisterung für die Chemie zu wecken. Die „systematisch-wissenschaftliche Behandlung der Chemie ist nicht Sache der Schule", diese soll vielmehr in großen Zügen ein anregendes Bild von der Chemie und von deren außerordentlicher Bedeutung für die Natur und die Menschheit geben. Daher muß sich der Unterricht im Gebrauch der Theorien möglichster Zurückhaltung befleißigen, auf der Unterstufe ganz darauf verzichten und auf der Oberstufe nur das Einfachste davon bieten, wie etwa „Gasgesetze, Stöchiometrie" (die aber bei übertriebener Anwendung Gift für die Freude der Schüler an der Chemie ist), „Atom- und Molekulartheorie". Ablehnend verhält sich der Verf. gegenüber der analytischen Chemie, „die gänzlich unberechtigterweise jetzt an vielen Schulen breitesten Raum einnimmt", sowie der elektrolytischen Dissoziationstheorie, der Wernerschen Theorie, der Radiochemie usw. Hinsichtlich der Ionentheorie ist jedoch der Verfasser, wie Ref. einer dankenswerten mündlichen Mitteilung entnimmt, nicht dagegen, daß diese in ihren Grundzügen gelehrt werde; es sei aber die Ausdehnung, die diese Theorie zuweilen in Schullehrbüchern erfährt, zu bekämpfen. Die Grundzüge der Mineralogie und Geologie können in den Chemieunterricht hineingeflochten werden; man hüte sich jedoch vor ermüdender Beschäftigung mit der Kristallographie; auch Geschichte der Chemie darf nicht eingehend betrieben werden. „Der Schul-Chemieunterricht soll keine Vorbereitung auf das Hochschul-Chemiestudium sein. Einmütig stimmen die Hochschullehrer der Chemie darin überein, daß die jetzt so verbreitete, den Hochschulunterricht nachahmende Pflege der Chemie an unseren höheren Lehranstalten für das spätere Chemiestudium keineswegs förderlich, sondern ausgesprochen schädlich ist."

Der Verf. erhebt dann die Forderung: „Kein Chemieunterricht ohne praktische Übungen!" und kennzeichnet treffend den Wert solcher Tätigkeit, wobei er das vom Ref. in dieser Zeitschrift *(26, S. 48 f.)* wiedergegebene Urteil Klödens über die Wöhlerschen praktischen Übungen an der nachmaligen Friedr. Werd ORS. wörtlich anführt. Er fordert weiterhin, ganz im Sinne der modernen Bestrebungen, daß „mündlicher Unterricht und praktische Übungen" „organisch verbunden sein und sich ergänzen" müssen. Besonders wertvoll seien die Übungen auch deshalb, weil sie dem Lehrer die beste Gelegenheit bieten, Begabungen für die Chemie zu entdecken und zu fördern. Hinsichtlich der Prüfungsanforderungen verlangt Stock, daß die Chemie bei den Prüfungen ihrer Bedeutung gemäß berücksichtigt und bewertet werde; „sie darf aus schultechnischen Gründen in ihrer „Versetzungskraft", hinsichtlich der verlangten schriftlichen Prüfungsarbeiten (Abiturientenprüfung) usw. hinter keinem anderen naturwissenschaftlichen Fach, insbesondere der Physik, zurückbleiben. Schüler sind Realpolitiker!"

Es werden nun diese allgemeinen Grundsätze auf die einzelnen Arten der höheren Lehranstalten angewendet. Ein ungemein wichtiger, vielleicht der hervorstechendste Punkt der ganzen Schrift ist das lebhafte Eintreten für einen chemischen Unterricht auf der Oberstufe des Gymnasiums. „Die Berücksichtigung der Chemie an den Gymnasien ist zur Zeit völlig ungenügend.... So kann und darf es unter keinen Umständen weitergehen. Der Chemie auch an den Gymnasien zu einem bescheidenen Rechte zu verhelfen, ist das Dringendste, was für sie an den höheren Lehranstalten getan werden muß. Gerade ehemalige Gymnasiasten kommen oft in führende, verantwortungsvolle Stellen, in welchen sie chemische Kenntnisse besonders nötig brauchen. Und dann muß das wertvolle Schülermaterial der Gymnasien für das Studium der Chemie erschlossen werden. ... Von Fachlehrern erteilter, mit Übungen verbundener Chemieunterricht muß, etwa im Umfange zweier Wochenstunden, in den Stundenplan aller Oberklassen des Gymnasiums aufgenommen werden. Dies erfordert das elementare praktische Lebensinteresse unseres Volkes. Mögen sich auch kurzsichtige Kreise weiter gegen diese Neuerung sträuben und sich bemühen, die Angelegenheit auf ein totes Gleis zu schieben ... Nicht ob, sondern wie der Chemieunterricht in den Gymnasien Platz finde, muß heute gefragt werden. — Für die Realgymnasien und Ober-

[1]) Alle in diesem Bericht gesperrten Worte sind auch im Original gesperrt.



realschulen werden die Forderungen noch einmal kurz dahin zusammengefaßt: „Keine Kopie des Hochschul-Unterrichtes! Weniger systematischer Einzelstoff! Dafür Vertiefung und Belebung des Unterrichtes, stärkere Hervorhebung der Bedeutung der Chemie für Natur, Kultur, Technik, Wirtschaft! Kein Unterricht ohne „verbindliche" (nicht freiwillige) Übungen!" — Hinsichtlich der Chemie-Schulbücher heißt es: „Viele von ihnen, darunter die meistbenützten, ahmen streng die Hochschul-Lehrbücher nach ... Ihnen vorzuziehen sind die Bücher, in denen der Stoff mehr methodisch geordnet vorgetragen wird." Allen Chemie-Schulbüchern muß man eine fesselndere Behandlung des Stoffes und eine stärkere Berücksichtigung der wirtschaftlichen, technischen usw. Bedeutung der Chemie wünschen. Dagegen könnte die Mineralogie in ihnen häufig weit mehr in den Hintergrund treten. Von einem zweckmäßigen Lehrbuch hängt außerordentlich viel für den Chemieunterricht ab.

Zum Schluß bringt der Verf. auch noch über „die Ausbildung der Chemie-Oberlehrer" genauere Ausführungen, von denen besonders der Gedanke hervorgehoben sei, daß neben und nach den allgemeinen Vorlesungen und Praktika noch für Oberlehrer besonders eingerichtete kurze Vorlesungen und seminaristische Übungen eingerichtet werden sollten, deren Leiter gegebenenfalls auch aus dem Kreise der Oberlehrer entnommen werden können, derart, daß ein solcher Leiter dadurch auch Mitglied des Hochschullehrkörpers wird. Durch Ferienkurse ist die weitere Fortbildung zu unterstützen.

Es ist nicht möglich, den reichen Inhalt der Schrift in einem kurzen Bericht auszuschöpfen. Seitens des Chemieunterrichts an unseren höheren Schulen ist diese Kundgebung aus dem Hochschulkreise lebhaft zu begrüßen und es sind die vielfachen Anregungen darin dankbar anzuerkennen. Die didaktische Ausgestaltung der vorgetragenen Ideen und des Chemieunterrichts der höheren Lehranstalten überhaupt wird natürlich die „Mittelschul"methodik allein in die Hand nehmen müssen, da nur der tägliche Umgang mit der Jugend und ein liebevolles Eingehen auf ihre berechtigten Bestrebungen die beste Anpassung des chemischen Lehrgutes an die jugendliche Psyche zu gewährleisten vermag. Vielleicht ist die Schrift, auf die wir uns vorbehalten noch mehrfach zurückzukommen, auch ein Anlaß zu einem engeren Zusammenwirken von Hochschule und Mittelschule, das für beide Teile viel Nutzen stiften könnte. Von neuem ist auch zu hoffen, daß mit Unterstützung der Hochschule endlich dem traurigen Zustand chemischer Unwissenheit auf dem Gymnasium ein Ende gemacht werden wird.

O.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Das Wesen der Materie. Nach dem neuesten Stand unserer Kenntnisse und Auffassungen dargestellt von Felix Auerbach. Mit 15 Abhandlungen. Leipzig, Dürr, 1918. 144 S. M. 3,—, geb. M. 4,—.

Das Buch ist aus einer gemeinverständlichen Vorlesung entstanden, die der Verfasser vor einigen Jahren an der Universität Jena gehalten hat, und die hier gemäß den inzwischen erfolgten Fortschritten stark umgearbeitet und ergänzt wiedergegeben sind. Die Entwicklung der wissenschaftlichen Einsichten auf diesem Gebiet wird in populärer Form dargestellt bis zu den neuesten Forschungen über Elektronen und über Atommodelle. Mancher Abschnitt, wie der über den osmotischen Druck und über e/m sind besonders geschickt behandelt, doch ist die Darstellung mehr auf Laien als auf Fachmänner berechnet, für den Physiklehrer möchten wir doch eine etwas eingehendere Behandlung wünschen. Der Verfasser steht auf dem Boden des Phänomenalismus und darf daher eigentlich vom Wesen der Materie gar nicht reden; da er aber selbst an einer Stelle von glänzender Bestätigung der Atomistik spricht, so scheint er keiner von den phänomenalistischen Ultras zu sein. Daß durch die Energetik jede Art von Materialismus beseitigt sei, wird den philosophisch geschulten Leser stutzig machen; diese Ostwaldsche Entgleisung sollte doch nicht ernsthaft genommen werden.

P.

Physik und Kulturentwicklung durch technische und wissenschaftliche Erweiterung der menschlichen Naturanlagen. Von Otto Wiener. Mit 72 Abbildungen im Text. Leipzig, Teubner, 1919. 109 S. M. 4,90, geb. M. 5,50.

Die Schrift ist aus Vorträgen entstanden, die der Verfasser im September 1917 in Mazedonien gehalten hat. Sie bespricht die wissenschaftlichen Mittel zur Erweiterung der Sinne, die Erweiterung des Geistes durch die Wissenschaft und die Erweiterung der Gliedmaßen durch die Hilfsmittel der Technik. Einleitung und Schluß behandeln das Verhältnis von Physik und Kultur im Lichte neuerer Auffassungen. Die Schrift eignet sich auch als Unterlage für Vorträge, bei denen die zahlreichen, meist recht guten Abbildungen sich episkopisch verwerten lassen.

P.

Ernst Mach. Von Dr. Anton Lampe, o. ö. Professor der Physik an der deutschen Universität zu Prag. 64 S. Prag 1918, Verlag Deutsche Arbeit.

Das Schriftchen, im Format kaum größer als ein Reclambändchen und so inhaltreich wie nur wenige von diesen, ist die Erweiterung einer Gedächtnisrede, die der Verfasser, als Nachfolger Machs auf dem einst von diesem eingenommenen Prager Lehrstuhl, in Wien gehalten hat. Gedankliche Klarheit und große Innigkeit des Empfindens zeichnen die Schrift aus, die als eine ausgezeichnete Einführung in den weltumspannenden Machschen Gedankenkreis gelten kann. „Der Naturforscher, der aus dem Gehege seiner Spezialdisziplin heraus nach einem übersichtlichen Standpunkt, nach einer ‚Weltansicht' strebt, wird an Mach nicht vorbeigehen können. Ob er ihm dann folgen will und kann oder nicht, die anregende Wirkung der Machschen Gedanken, die Erschließung eines ganz neuen, weiteren Gesichtskreises wird ihre befreiende Wirkung nicht versagen." Die Freunde der Machschen Weltauffassung wird besonders auch die Parallele mit dem buddhistischen Standpunkt interessieren, die der Verfasser am Schlusse der Schrift darlegt.

P.

Das latente Lichtbild, seine Entstehung und Entwicklung. Von Dr. M. Andresen. (Encyklopädie der Photographie, Heft 83). VIII u. 61 Seiten, 4 Textabb. Halle a. S., Wilhelm Knapp, 1913. M. 2,40.

Frühere Forschung hatte bereits die Vermutung, daß nicht nur das Molekül AgBr, sondern auch die Gelatine am Aufbau der lichtempfindlichen Elemente der Bromsilbertrockenplatte wesentlichen Anteil habe, in den Ausdrücken „Bromsilberleim" und „Bromsilberkorn" zusammengefaßt. Andresen bildet die bestimmtere Vorstellung, daß mehrere Moleküle AgBr mit einer bestimmten Menge Gelatine zu einem wohldefinierten chemischen Komplex zusammentreten. Die Zahl der bei diesem Gebilde zu erwartenden Grade der Zerlegung reicht aus, um alle bekannt gewordenen Eigentümlichkeiten des latenten Bildes zu deuten. Das Reifen der Emulsion erklärt Verf. als eine Lockerung der Bindung zwischen dem Bromsilber und der Gelatine. Hierdurch wird der Zerfall des angenommenen Komplexes vorbereitet, bei zu weit getriebener Reifung auch herbeigeführt.

Das latente Lichtbild wird unterschieden in eins erster Ordnung, das physikalisch nicht entwickelt, aber durch Salpetersäure zerstört werden kann, und eins zweiter Ordnung, das sich entgegengesetzt verhält. Das erstere, das sich über das Gebiet der Unterbelichtung und über das erste Fünftel des geraden Teils der Schwärzungskurve erstreckt, wird gedeutet als eine Trennung der Gelatine vom mehrfach zusammengeballten AgBr und eine „Zerstäubung" dieses letzteren in einfache Moleküle. Im latenten Bild zweiter Ordnung tritt dann der Zerfall des Bromsilbermoleküls in Silber und Brom ein.

Zur Stütze dieser Hypothese werden Versuche angeführt, die sich auf die Wirkung Brom absorbierender Zusätze zur Schicht, auf den Schwellenwert bei physikalischer und chemischer Entwicklung, auf das Abklingen des latenten Bildes, auf die Verschiedenheit nachträglich gemischten oder in Mischung entstandenen Jod-Bromsilbers und auf die Einwirkung von Oxydationsmitteln auf das latente Bild beziehen. Dem Solarisationsphänomen wird eine besondere Untersuchung unter Leitung der geschilderten Hypothese zuteil.

Angefügt ist eine kurze Erörterung über die Chemie der chemischen Entwickler, die sich besonders mit dem Metol beschäftigt und in Ratschlägen für die Praxis ausklingt. Verf. widerspricht hier sehr bestimmt den weit verbreiteten Meinungen, daß Metol keine gute Deckung gebe und nicht genügend abstimmbar sei.

Das latente Lichtbild ist der Untersuchung sehr wenig zugänglich, weil es äußerst labiler Natur ist. So wird man nur auf dem Wege, den der Verf. einschlägt, nämlich durch Rückschlüsse aus den beobachteten Veränderungen überhaupt etwas erfahren können. Angesichts dieser Schwierigkeit wird man die wissenschaftliche Ausbeute des Heftchens als recht bedeutend bezeichnen dürfen.

W. Vn.

Einführung in die organische Chemie. Von B. Bavink. 2. Aufl. Mit 9 Abb., 110 S. — **Photochemie.** Von G. Kümmell. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 1 Tafel. 107 S. — Aus Natur und Geisteswelt, Nr. 187 bzw. 227. Leipzig, B. G. Teubner, 1918.

Die „Einführung in die organische Chemie" von B. Bavink, die in der ersten Bearbeitung „Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe" betitelt war, ist in anregender Form geschrieben und gewährt einen trefflichen Einblick in das Riesengebiet der Chemie der Kohlenstoffverbindungen. Kennzeichnend ist das Ausgehen von den natürlichen Stoffen, denen die künstlichen, besonders auch die wirtschaftlich wichtigen Verbindungen angeschlossen werden, wobei auch die notwendigsten Theorien mit erörtert und gelegentliche Fragen mehr philosophischer Natur berührt werden.

Die klar und anschaulich abgefaßte „Photochemie" von G. Kümmell gibt zunächst eine kurze geschichtliche Entwicklung unserer photochemischen Kenntnisse, von der Aristotelischen

Einsicht in die Abhängigkeit des Pflanzenwachstums vom Sonnenlicht an bis zu den letzten Errungenschaften der Lichtbildkunst. Die Schrift bietet dann in lichtvoller Darstellung die hauptsächlichsten Forschungsergebnisse auf dem vielseitigen Gebiet der photochemischen Erscheinungen an der Hand instruktiver Abbildungen und einer farbigen Tafel. Lobend hervorzuheben ist besonders der Abschnitt über „die Photographie in natürlichen Farben“.

Beide Bändchen sind auch für den chemischen Unterricht von Wert und können auf der Oberstufe als Schülerlesestoff Verwendung finden. *O.*

Deutsche Naturwissenschaft, Technik und Erfindung im Weltkriege. Herausgegeben von Prof. Dr. Bastian Schmid in München. 1007 S. Mit zahlreichen Abbildungen. München-Leipzig, Otto Nemnich, 1919.

Den stattlichen Band von hervorragender Ausstattung am Ende des Weltkrieges zustande gebracht zu haben, ist ein rühmliches Verdienst des Herausgebers, dem eine Reihe hervorragender Fachmänner zur Seite gestanden hat. Er hat damit ein Gedenkbuch des Krieges geschaffen, das von dauerndem Wert ist, zumal er nicht nur das in Betracht zieht, was Wissenschaft und Technik unmittelbar im Dienste der Kriegführung geleistet haben, sondern auch, was im Verkehrswesen, im Wirtschaftsleben, in der Gesundheitspflege, in der Heilkunde während dieses Krieges geleistet worden ist. Die Leser unserer Zeitschrift werden auch in den Abschnitten, die sich auf Physik, Chemie und Meteorologie im Kriege beziehen, vieles Neue und Wissenswerte finden, wir möchten aber auch nachdrücklich auf Abschnitte allgemeinen Inhalts, wie Krieg und Kultur, Psychologie des Krieges und der Erfindungen, Krieg und Erdkunde, Krieg und Völkerkunde, sowie auf das große Gebiet der Medizin im Kriege aufmerksam machen, das von mehreren Fachmännern bearbeitet ist. Auch der naturwissenschaftliche Unterricht und der Krieg, sowie die Schulmathematik und der Krieg sind behandelt. Wir müssen uns aus Raumrücksichten mit diesem kurzen Hinweis begnügen. Das Werk wird, wie der Herausgeber am Schlusse des Vorworts ausspricht, „Einblick geben in die Unsumme von Arbeit und Anpassungsfähigkeit, sowie die Kombinationsgabe und organisatorische Betätigung auf unseren Gebieten, Eigenschaften, die von jeher die deutsche Forschung, Industrie und Landwirtschaft auszeichneten und zu den besten Gaben des deutschen Geistes gehören“. *P.*

Dr. K. Sumpfs Grundriß der Physik. Ausgabe B, vorzugsweise für Realschulen und die Unterstufe höherer Realanstalten, höhere Bürgerschulen usw. Herausgegeben von H. Hartenstein und W. Bahrdt. Mit 527 zum Teil farbigen Abbildungen und 1 Spektraltafel. 7. Auflage. August Lax, Hildesheim u. Leipzig, 1917. 282 S. M. 3,20.

In dieser Auflage ist eine größere Zahl von Abbildungen neu gezeichnet, eine Reihe von solchen neu aufgenommen worden. In der Wärmelehre ist die Anordnung des Stoffes verändert, doch ist die Darstellung von Temperatur und von Wärmemenge noch immer nicht so auseinandergehalten, wie es für die Klarheit der Begriffe wünschenswert wäre. An geeigneten Stellen sind kurze Hinweise auf Schülerübungen eingestreut, die dazu dienen können, zu solchen anzuregen, wo sie etwa noch nicht eingeführt sind. In diesem Sinne kann man sie begrüßen, während eigentliche Anleitungen zu praktischen Übungen ins Lehrbuch aufzunehmen zur Zeit wohl nicht ratsam wäre.

Korrespondenz.

Die „Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen“, 1869 von J. C. V. Hoffmann begründet, ist in das 50. Jahr ihres Bestehens eingetreten. Das 1. Heft dieses Jahrgangs bringt eine Reihe von Jubiläumsaufsätzen, größtenteils rückblickender Art, von denen wir den von C. H. Müller in Frankfurt a./M. „Mathematische Wanderungen und Wandlungen in der Provinz Hessen-Nassau“ hervorheben, weil er auch über den naturwissenschaftlichen, besonders physikalischen Unterricht früherer Zeit interessante Mitteilungen enthält. Die Zeitschrift wird jetzt von H. Schotten und W. Lietzmann unter Mitarbeit von H. Rebenstorff herausgegeben. Wir bringen der Zeitschrift, die sich um die Ausgestaltung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts große Verdienste erworben hat, unsere Glückwünsche dar. *P.*

E. K., Frankfurt a. M. — Die Aufladung verbrauchter Trockenelemente mit Hilfe von Starkstrom, über die Sie berichten, ist schon öfter versucht worden, doch liegen die Grundlagen und die Voraussetzungen des Verfahrens nicht klar genug, als daß man es unbedingt empfehlen könnte. Wie wir hören, haben auch Versuche der Siemens und Halske A. G. nicht dazu geführt, das Wiederaufladen solcher Elemente zuverlässig und hinreichend ergiebig zu gestalten. *P.*

Mitteilungen aus Werkstätten.

Vereinfachte Präzisions-Volt- und Amperemeter für Schülerübungen nach H. Hahn. Von Gans und Goldschmidt, Elektrizitäts-Ges. m. b. H., Berlin N. 39. Die neueste Gestaltung der wirtschaftlichen und innerpolitischen Verhältnisse Deutschlands zeitigt einerseits die Notwendigkeit, überall, also auch z. B. bei der Anschaffung von elektrischen Meßinstrumenten, möglichst sparsam umzugehen, andererseits aber das Bestreben, die großen, bisher für Heer und Marine bestimmten Summen in Zukunft für eine gediegene Volksbildung flüssig zu machen. Es ist daher zu erwarten, daß auch die Volksschulen in der Lage sein werden, Instrumente und Apparate der genannten Art anzuschaffen.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, entschloß sich die Firma, die bisher so gut bewährten und für Schülerübungen beliebten Meßinstrumente nach H. Hahn[1]), ohne etwas von ihrer soliden Ausführung preiszugeben, so zu vereinfachen und zu verbilligen, daß auch jede Volksschule imstande sei, sie anzuschaffen.

Die so vereinfachten Instrumente unterscheiden sich von den in der Fig. 1 wiedergegebenen Präzisions-Volt- und Amperemetern zunächst



Fig. 1.

durch das kleinere System, wodurch eine bedeutende Verbilligung erreicht werden konnte. Durch eine größere Zeigerlänge konnte aber die Skalengröße beibehalten werden. Ferner ist der Skalenspiegel weggelassen und die Zeigerspitze speerförmig ausgebildet. Der Widerstand der Meßinstrumente ist nicht mehr auf eine runde Zahl genau abgeglichen, wodurch eine bedeutende Verbilligung in der Fabrikation erzielt wird. Die Genauigkeit ist dabei für die Zwecke einer Volks- oder Gemeindeschule immer noch größer als notwendig, da die Schüler eher an den Gebrauch von technischen Meßinstrumenten und erst bei höherem Unterricht an den Gebrauch von genaueren Laboratoriumsinstrumenten gewöhnt werden sollen. Die Instrumente können aber auch beim Unterricht in höheren Lehranstalten, in den Gewerbeschulen, ebenso wie in den Pflichtfortbildungsschulen, sowie zu den Zwecken der Förderung von Forschungen auf physikalischem und chemischem Gebiet, neben den bisherigen Hahnschen Instrumenten mit Nutzen verwendet werden. Ihr Stromverbrauch ist sehr gering und beträgt bei den Voltmetern etwa 0,02 Ampere beim Endausschlag. Ferner haben die neuen Meßgeräte nur einen Meßbereich, im Gegensatz zu den früheren Hahnschen Instrumenten, und zwar hat das Voltmeter einen Meßbereich von 0 bis 5 Volt, das Amperemeter einen von 0 bis 6 Ampere. Die Skaleneinheiten sind in je 10 gleiche Teile eingeteilt, so daß man Zehntel von Einheiten sicher, Hundertstel von Einheiten durch Abschätzen ablesen kann. Die Skala trägt eine große Fläche zur Schau, erstreckt sich auf eine Länge von 125 mm bei der größeren Type und 65 mm bei der kleineren, und ist natürlich proportional.

Die Instrumente sind in einem trapezartigen, nach unten verjüngtem, gefälligen Gehäuse aus einfach poliertem Eichenholz untergebracht und auf eine Grundplatte aus ebensolchem Holz montiert, auf der auch die Außenklemmen angebracht sind. Die Anordnung der Klemmen auf der Grundplatte statt am Gehäuse ermöglicht eine bessere Schonung der Instrumente.

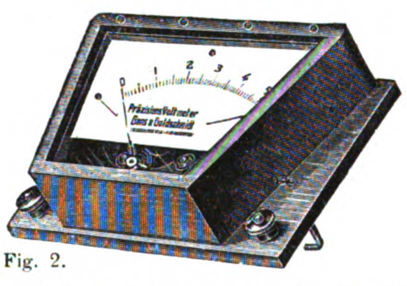


Fig. 2.

Wie die Figg. 2 und 3 zeigen, werden die Instrumente in zwei verschiedenen Größen ausgeführt, wobei das kleinere Modell natürlicherweise wiederum billiger wird. Auch die in *dieser Zeitschrift* (*Juli 1908*) beschriebenen Demonstrationsgalvanometer werden in der vereinfachten Ausführungsart hergestellt. Um den Gebrauch dieser Instrumente in den Volksschulen zu erleichtern, gibt die Firma eine Broschüre „Anleitung zum Elementarunterricht in der Elektrizitätslehre" heraus, die im Buchhandel zum Preise von M. 0,90 erhältlich ist, die aber dem Besteller auf Wunsch gratis mitgeliefert wird. Für Volksschullehrer, die aus einem oder dem anderen Grunde an keinem Fortbildungskursus haben teilnehmen können, dürfte diese Broschüre von großem Nutzen sein.



Fig. 3.

[1]) Siehe *diese Zeitschr. Januar 1908, September 1912*, sowie Handbuch für Schülerübungen von Hermann Hahn 1915, S. 352.

Himmelserscheinungen im April und Mai 1919.

12h = Mittag, 0h und 24h = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ — 0,1h.)

MEZ 12h		April 1	6	11	16	21	26	Mai 1	6	11	16	21	26	31
☿	AR	1h 15m	1.5	0.52	0.43	0.41	0.45	0.56	1.13	1.33	1.58	2.26	2.59	3.36
	D	12°	10	7	5	3	3	3	4	6	9	12	15	18
♀	AR	2h 34m	2.57	3.22	3.46	4.11	4.36	5.2	5.28	5.53	6.19	6.44	7.9	7.33
	D	15°	17	19	21	22	24	25	25	26	26	25	25	24
⊙	AR	0h 39m	0.57	1.16	1.34	1.53	2.11	2.30	2.50	3.9	3.29	3.48	4.9	4.29
	D	4,2°	6,1	8,0	9,8	11,6	13,2	14,8	16,3	17,7	18,9	20,0	21,0	21,8
♂	AR	1h 13m	1.27	1.42	1.55	2.10	2.24	2.38	2.53	3.7	3.22	3.36	3.51	4.6
	D	7°	9	10	12	13	14	15	16	18	19	19	20	21
♃	AR	6h 31m		6.36		6.41		6.48		6.55		7.3		7.11
	D	23°		23		23		23		23		23		23
♄	AR	9h 39m						9.37						
	D	16°						16						
Sternzeit [1]		0h 35m 1s	0.54.44	1.14.27	1.34.9	1.53.52	2.13.35	2.33.18	2.53.0	3.12.43	3.32.26	3.52.9	4.11.51	4.31.34
Zeitgl.		4m 12s	2.43	1.19	— 0.1	— 1.9	— 2.7	— 2.52	— 3.25	— 3.44	— 3.49	— 3.39	— 3.16	— 2.40
Breite von Berlin. Ortszeit														
⊙	Aufg [2]	5h 39m	5.27	5.16	5.5	4.54	4.43	4.33	4.23	4.14	4.6	3.59	3.53	3.47
	Untergang [2]	18h 31m	18.39	18.48	18.57	19.5	19.14	19.23	19.31	19.39	19.47	19.55	20.2	20.8
☾	Aufg. [2]	5h 27m	9.10	15.4	20.38	0.17	2.40	5.3	10.3	16.17	21.28	—	1.50	5.40
	Untergang [2]	19h 50m	0.49	3.25	5.4	8.28	14.30	21.27	0.43	2.27	4.42	9.41	16.11	22.4

[1]) Im Stargarder Meridian. [2]) Für den Mittelpunkt der Scheibe.

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	März 31, 22h 5m	April 7, 13h 39m	April 15, 9h 25m	April 23, 12h 21m
	April 30, 6h 30m	Mai 7, 0h 34m	Mai 15, 2h 1m	Mai 22, 23h 4m
	Mai 29, 14h 12m	Juni 5, 13h 22m		

Finsternisse. Totale Sonnenfinsternis Mai 29, 14h, bei uns unsichtbar.

Der **Mond** tritt an folgenden Tagen (MEZ) in die abgerundeten **Sternbilder** des **Tierkreises**:

	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs	
Länge	25°	55°	85°	115°	145°	175°	205°	235°	265°	295°	325°	355°	
April	1	3	5	8	10	12	15	17	20	22	25	27	April
April	29	• 1	3	5	7	10	12	15	17	20	22	24	Mai
Mai	26	28	30 •	1									Juni

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag		♀ Abendstern nachm.		♂ nachm.	♃ (Zwillinge) nachm.	vorm. (nachm.)	♄ (Krebs) nachm.	vorm.	
III	22	D 6,9h	U 8,9h	7,3h	D 7,3	U 2,9	D 7,4	D 4,9	☿ bleibt unsichtbar
IV	11	D 7,5h	U 10,0h		D 7,9	U 1,7	D 8,0	U 3,9	
V	1	D 8,2h	U 11,0h		D 8,6	U 0,6	D 8,8	U 2,6	
V	21	D 8,8h	U 11,5h		D 9,4	U (11,5)	D 9,6	U 1,3	U = Untergang
VI	10	D 9,3	U 11,3h		D 9,8	U (10,4)	D 10,2	U 0,0	D = Dämmerung

Verfinsterungen der Jupitermonde (MEZ). Nachmittag-Stunden. E = Eintritt, A = Austritt.

April 10, 8h 29.9m A I — Mai 1, 9h 36,8m E III — Mai 29, 9h 52,0m A II

„ 24, 9h 2,1m A III — „ 3, 8h 45,2m A I

M. Koppe.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXII. Jahrgang. Drittes Heft. Mai 1919.

Ein Modell zur kinetischen Gastheorie[1]).

Von Dr. M. Minnaert in Gent (Flandern).

Glücklicherweise ist es lange her, daß man auf der Unterstufe in der Wärmelehre anfing mit einer Auseinandersetzung der Hypothesen über die Natur der Wärme und mit den Vorstellungen der kinetischen Theorie. Abgesehen davon, daß der Geist der jungen Schüler unmöglich diese Einführung in ihrer wahren Bedeutung begreifen konnte, stellt eine solche Gedankenreihe ein schlimmes Beispiel von wissenschaftlichem Dogmatismus dar, wie er dem Wesen der Physik als experimenteller Wissenschaft ganz entgegengesetzt ist.

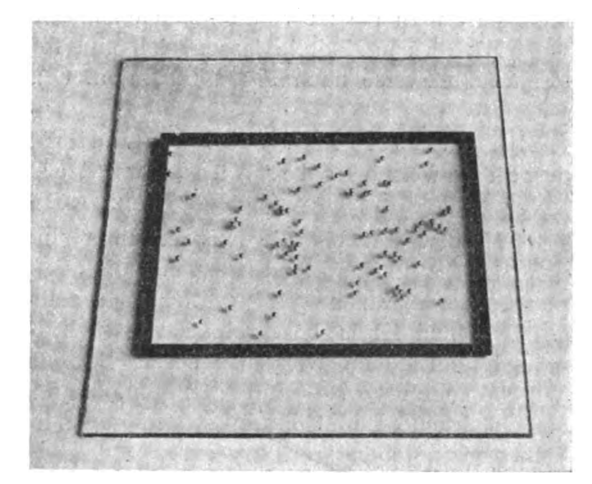


Fig. 1.

Auf der Oberstufe dagegen, und in der allgemeinen Vorlesung über Experimentalphysik an den Universitäten, sollte der kinetischen Theorie eine große Bedeutung zugewiesen werden[2]). Denn sie ist für uns ein höchst wichtiger Knotenpunkt: ihre Vorstellungen bringen Beziehungen zwischen zahlreiche Abschnitte der Physik und tragen in hohem Maße bei zur Einheit des physikalischen Weltbildes: nicht nur die meisten Erscheinungen der Wärmelehre lassen sich vom Standpunkte der kinetischen Theorie erklären und vertiefen, sondern auch u. a. in den Abschnitten über Lösungen und Kolloide, Elektronen, Gasionen und Entladungen bedient man sich fortwährend ihrer Vorstellungsweisen. Weiter ist es wichtig, daß wir hier von der grob-sinnlichen „Molarphysik" zum ersten Male zu der „Molekularphysik" übergehen; daß wir Tatsachen, welche sich nicht direkt erklären lassen, durch mechanische Schemata zurückführen auf bekannte mechanische Grundgesetze.

Dieser entscheidende Schritt soll mit der größten Vorsicht geschehen; die mathematischen Berechnungen müssen deutlich nur als Hilfsmittel gebraucht werden, während das Konkrete, Sinnfällige der mechanistischen Weltauffassung scharf hervortreten soll. — Dazu ist nun ein Modell in hohem Grade nützlich.

Von solchen Modellen sind schon zwei beschrieben:

1. das Modell von Pfaundler[3]), welches sehr schön ist, aber verwickelt;

---

[1]) Vom Verfasser übersetzt nach der niederländischen Handschrift.

[2]) Eine gute allgemein verständliche Einführung ist: W. Mecklenburg, Die experimentelle Grundlegung der Atomistik (Jena, Fischer, 1910). — Auch: J. Perrin, Les Atomes (Paris, Alcan, 1913).

[3]) Müller-Pouillet, Lehrb. d. Physik, Bd. III, S. 753.

2. das Modell von MELDE[1]), welches sich nur zu ein paar Demonstrationen gebrauchen läßt.

Beide sind leider teuer.

Es sei darum hier ein ganz einfaches Modell (Fig. 1) beschrieben, das die Vorstellungen der kinetischen Gastheorie vollkommen deutlich macht und sehr leicht angeschafft werden kann.

Eine Spiegelglasplatte von 50 cm × 70 cm (besser wäre 70 cm × 70 cm) wird auf den Experimentiertisch gelegt und mit Hilfe einiger kleiner Keile horizontal justiert. Frei auf der Platte liegt ein hölzerner Rahmen in der Form eines Vierecks von 40 cm × 40 cm, er stellt das Gefäß vor, in welches das Gas eingeschlossen ist. — In dieses Viereck hinein legt man nun Stahlkugeln, wie sie für Fahrräder gebraucht werden, diese stellen die Molekeln vor; ich benutze Kugeln von 8 mm Durchmesser, für weitere Experimente auch von 6,3 und 4 mm, so daß die Radien sich verhalten wie $1 : \sqrt[3]{4} : \sqrt[3]{8}$ und die Massen wie 1 : 4 : 8. (womöglich wären vielleicht vorzuziehen die etwas größeren Durchmesser 10; 7,9; 5 mm). Es ist wünschenswert ziemlich viele Kugeln zu verwenden, z. B. 70 auf der angegebenen Fläche. Diese Stahlkugeln rollen fast reibungslos auf der Spiegelglasplatte und prallen sehr schön zurück, wenn sie gegeneinander stoßen; ohne Mühe, so gut wie von selbst, idealisiert man sie zu vollkommen elastischen Kugeln.

Mit diesem Modelle lassen sich nun folgende Erscheinungen schematisch demonstrieren (teilweise nach PFAUNDLER, a, a. O.).

1. Ein Gas befindet sich beim absoluten Nullpunkt in einem Gefäße; durch Erwärmen der Wände wird allmählich dem ganzen Gase Wärme zugeführt.

Man wartet bis die Kugeln ruhig sind, faßt den Rahmen mit beiden Händen und bewegt ihn gleitend 3—4 mal in der Sekunde hin und zurück über der Glasplatte; der Rahmen soll parallel sich selbst bleiben, jeder seiner Punkte aber ungefähr einen Kreis beschreiben von z. B. 6 cm Durchmesser; größere Bewegungen müssen vermieden werden. Diese Bewegungen stellen die Wärmebewegung der Wandmolekeln vor. — Einige Kugeln, die dem Rahmen am nächsten liegen, bekommen alsbald kleine Impulse und stoßen gegen andere. Nach kurzer Zeit ist der ganze Schwarm in lebendiger Bewegung.

2. Ein Gas bei der Zimmertemperatur; die Stöße; die freie Weglänge.

Höchst fesselnd ist der Anblick der regellos durcheinander laufenden Kugeln, ein Bild des vollkommen ungeordneten Zustandes, der sich allen Regeln zu entziehen scheint, und doch durch die wunderbaren Gesetzmäßigkeiten der Wahrscheinlichkeitsrechnung beherrscht wird.

Das Auswechseln der Geschwindigkeiten ist an einzelnen Kugeln sehr schön festzustellen. Die freie Weglänge bekommt für die Zuschauer einen deutlichen Sinn; man kann sie schätzen, beispielsweise auf 5 cm. So haben auch Geschwindigkeit und Stoßanzahl pro Sekunde bestimmte Werte; eine selbst sehr rohe Schätzung trägt in hohem Maße dazu bei, die Sache konkret zu machen. Setzen wir z. B. $c = 10$ cm/sek.; die Beziehung $\text{Stoßanzahl} = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Freie Weglänge}}$ wird eingeführt und ergibt: $\frac{10}{5} = 2$ Stöße pro Sekunde, was genügend stimmt mit dem, was man wahrnimmt.

Natürlich wird hingewiesen auf den Riesenunterschied zwischen diesen Werten und den wahren molekularen Größen.

---

[1]) *Diese Ztschr. XI (1898), S. 60.*



Bei dieser Demonstration und bei anderen ist es wünschenswert, daß die Zuschauer eine bestimmte Molekel leicht mit den Augen verfolgen können. Dazu kann man eine Kugel nehmen, die um ein geringes größer ist als die übrigen, oder wohl besser eine kleine elfenbeinerne Kugel; vorläufig wird ihre kleinere oder größere Masse nicht in Betracht gezogen.

Die Bedeutung der Temperatur ist nun schon insofern deutlich, daß man versteht, wie sie zusammenhängt mit der Molekulargeschwindigkeit; man zeigt, daß die Temperatur nur die Bedeutung eines Mittelwertes hat. — Auch die Erklärung des Druckes, den die Gase ausüben, ergibt sich von selbst, wie auch die Zunahme dieses Druckes mit der Temperatur; das Klappern der Kugeln gegen den Holzrahmen macht uns diesen Druck recht sinnfällig. Bei sehr starken Bewegungen würden sie den Rahmen zerbrechen (Explosion!).

Man soll hier nicht unterlassen zu zeigen, wie sehr die kinetische Gastheorie die Einheitlichkeit unserer Vorstellungen fördert; die früher so rätselhafte „Abstoßung" der Gasteilchen gegeneinander ist durch sie sehr einfach mechanisch erklärt.

3. Die Bewegung eines Schiebers.

In den Rahmen legt man ein Glasrohr von 35 cm Länge und sammelt $^3/_4$ der Kugeln in der einen Hälfte. Sobald man den Rahmen bewegt, hat der „Überdruck" zur Folge, daß der Schieber seitwärts gedrängt wird. — Wie auch Pfaundler feststellte, gelingt dieses Experiment nicht besonders schön.

4. Die Grundgleichung.

Es wird nun die Grundformel der kinetischen Theorie nach Joule und Krönig elementar abgeleitet. Wieder kann man hier vom Modell ausgehen. Eine Kugel wird in die Mitte gelegt; mit Kreide zeichnet man auf der Glasplatte die willkürliche Geschwindigkeit, und zerlegt diese in zwei Komponenten parallel mit den Seiten des Rahmens. Jeder weitere Schritt wird erst am Modell erklärt, nachher wird an der Tafel gerechnet. In der gefundenen Gleichung

$$p = \frac{NmC^2}{3\,v},$$

mißt mC^2 die absolute Temperatur. Wenn zwei verschiedene Gase im Temperaturgleichgewicht sind, müssen sich also die Geschwindigkeiten umgekehrt verhalten wie die Wurzeln ihrer Molekulargewichte. Und in der Tat, wenn man einige kleine Kugeln den großen beimischt und den Rahmen bewegt wie im Experiment 2, so ist der Unterschied der Geschwindigkeiten recht auffallend; durch die Schwärme großer Kugeln hindurch ziehen die kleinen helle glänzende Linien wie Blitze.

Um das Boylesche Gesetz zu demonstrieren, wird nur eine einzige große Kugel (Durchmesser 8 mm) genommen. Man bewegt den Rahmen so regelmäßig wie möglich, und zählt die Stöße der Kugel gegen die Wände innerhalb einer Minute. Man wiederholt diese Zählung für zwei und womöglich auch für drei Kugeln. Durch Mittelbildung aus je 2—6 Messungen erhielt ich:

Zahl der Kugeln:	1	2	3
Stöße pro Min.:	99	200	277
	75,5	157	219,5
	99	199	296

Für drei Kugeln kann man nur schätzen, und zählt meist zu wenig. Immerhin genügen die Zahlen, um das Gesetz zu veranschaulichen.

Es kann hier auch der Versuch Heuse's gezeigt werden[1]; hinderlich ist aber, daß dabei eine neue Konstante vorkommt.

[1] *Diese Ztschr. XIX (1906), S. 220.*

Wenn man das Maxwellsche Gesetz der Geschwindigkeitsverteilung erwähnt, sollte man nicht unterlassen den sehr schönen und leicht anzufertigenden Apparat des Biologen Galton zu demonstrieren [1]). Durch eine enge Öffnung läßt man über ein benageltes Brett Stahlkugeln, Schrot oder einfach trockene Erbsen herabrollen; die Kügelchen springen entweder links oder rechts, und schließlich findet man in der Mitte unter der Öffnung zahlreiche Kugeln versammelt, seitwärts aber desto weniger je größer die Abweichung vom Mittelwert ist.

5. Die Atmosphäre; die barometrische Höhenformel.

Unter die eine (schmale) Seite der Glasplatte wird ein Holzklotz von etwa 4 cm geschoben. Bewegt man den Rahmen, dann verteilen sich die Kugeln über die schiefe Oberfläche wie die Luftmolekeln in der Atmosphäre; unten sind sie sehr zahlreich: je höher man aber kommt, desto seltener werden sie. Selbst in den „obersten Schichten" kommt doch dann und wann noch eine Molekel vor, wenn ein besonderer Zufall ihren Anstieg begünstigt hat. Eine eigentliche Grenze besteht also nicht.

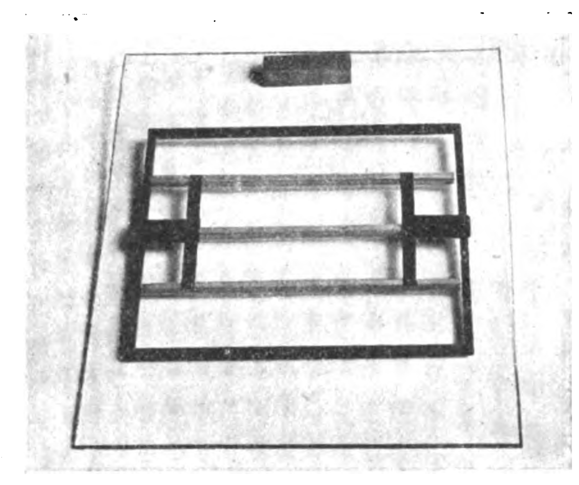


Fig. 2.

Um die Verteilung besser zu übersehen, können wir Zählungen machen. Der kleine Apparat Fig. 2 erlaubt die Kugeln, während sie in Bewegung sind, plötzlich in vier horizontale Streifen zu teilen: ein System von drei parallelen Holzstäben trägt links und rechts je ein durchbohrtes Eisenplättchen, das man ganz lose über je einen Stift in der Mitte der rechten und linken Seite des Rahmens schiebt; die Stäbe sind 5 mm kürzer wie die Innenseite des Rahmens und ein paar Zentimeter breit; unten sind sie scharfkantig. Es ist nun ein leichtes, die zwei Seitenplättchen über die Stifte zu schieben, anzufassen, und den Hilfsapparat etwa 1 cm über die Glasplatte gehoben zu halten, während man ihn zusammen mit dem Rahmen in der gewöhnlichen Weise bewegt und die Kügelchen hin und her rollen. Sobald der Zustand stationär ist, läßt man schnell den Hilfsapparat niederfallen und teilt hierdurch die Kugeln in vier Gruppen, welche man zählt.

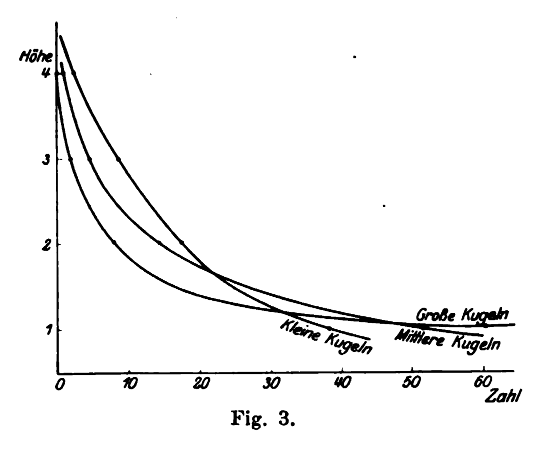


Fig. 3.

Die Fig. 3 zeigt, welche schönen Kurven man oft findet. Diese Kurven stellen natürlich auch den Verlauf des Druckes in einer Atmosphäre vor, weil ja die Drucke sich verhalten, wie die Anzahlen der Kugeln pro Raum- (bzw. Flächen-) einheit.

[1]) Fr. Galton: Natural Inheritance (London, Macmillan, 1889; S. 63). — Auch z. B. in W. Johannsen: Elemente der exakten Erblichkeitslehre (Jena, Fischer, 1909; S. 38).

Für kleine Höhenunterschiede ergibt eine einfache Berechnung:

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{m g h}{R T},$$

wo p_0 = Druck an der Erdoberfläche; p = Druck in der Höhe h; m = spezifische Masse.

Daß die relative Druckabnahme von der Temperatur T abhängt, läßt sich einfach und deutlich dadurch demonstrieren, daß man den Rahmen rascher bewegt: im Mittel steigen die Kugeln dann höher, das Druckgefälle ist allmählicher. Eine langsamere Bewegung hat die entgegengesetzte Folge. — Den Einfluß des Gravitationsfeldes (g) zeigt man durch eine verschiedene Neigung der Glasplatte. — Schließlich wird gezeigt, daß der Druck desto schneller mit der Höhe abnimmt, je größer die Dichte des Gases (m) ist. Dazu verwendet man nacheinander die Kugeln von verschiedenen Größen. Zählungen nach dieser Methode ergaben die Kurven Fig. 3. — So ist die barometrische Höhenformel nun auch durch die Anschauung dem Verständnis näher gebracht; jeder „fühlt", daß die einzelnen Einflüsse in der angegebenen Weise einwirken müssen.

Bei allen diesen Experimenten muß die Bewegung des Rahmens so gleichmäßig und kreisförmig wie möglich sein. Vor allem bei zählenden Versuchen wird sonst der zweite Streifen wahrscheinlich verhältnismäßig zu viel Kugeln bekommen. Man reguliert die Bewegung nach dem Schlag eines Sekundenzählers oder eines Metronoms, und schätzt die Amplitude, um die „Temperatur" konstant halten zu können.

6. Die Bestimmung der Konzentrationsabnahme nach PERRIN.

Bekanntlich hat PERRIN gezeigt, daß in einer Gummigutt-Emulsion die Körnchen ganz nach demselben Gesetz verteilt sind wie die Molekeln in einer Atmosphäre; aus der Vergleichung der Werte von $\frac{p_0 - p}{p_0}$ in der Emulsion und in der Luft hat er einen sehr guten Wert für die Masse einer Luftmolekel berechnet.

Wenn wir gezeigt haben, wie $\frac{p_0 - p}{p_0}$ von m abhängt, so werden wir ganz von selbst auf die Besprechung dieser schönen Untersuchungen gelenkt. Und wir können nun demonstrieren, wie PERRIN die Zahl der Gummiguttkörnchen in verschiedenen Höhen gemessen hat. Wir zeichnen mit Kreide auf den dunklen Experimentiertisch unter der Glasplatte eine Reihe Quadrate von höchstens 5 cm Seite und nehmen ein eben so großes Quadrat weißen Papiers, das wir über eines der gezeichneten Quadrate legen; es stellt das Feld eines Mikroskopes vor, auf die Emulsion eingestellt; die Kugeln sind auf dem weißen Hintergrund gut zu sehen (Fig. 4). — Nun bestimmen wir, während der Bewegung des Rahmens, genau auf den Schlag des Sekundenzählers, wieviel Kugeln sich im Quadrat befinden, in Zwischenräumen von je 2 Sekunden. In den unteren Schichten ist es für uns oft schwierig, diese Zahl mit einem Blicke zu bestimmen; dann wird geschätzt. — Durch Mittelbildung ergeben sich ziemlich gute Werte für die Konzentrationsabnahme, ungefähr wie bei der vorigen Methode. Die Bestimmung dauert aber länger; wir können sie nur empfehlen zur Demonstration des Prinzips der Methode.

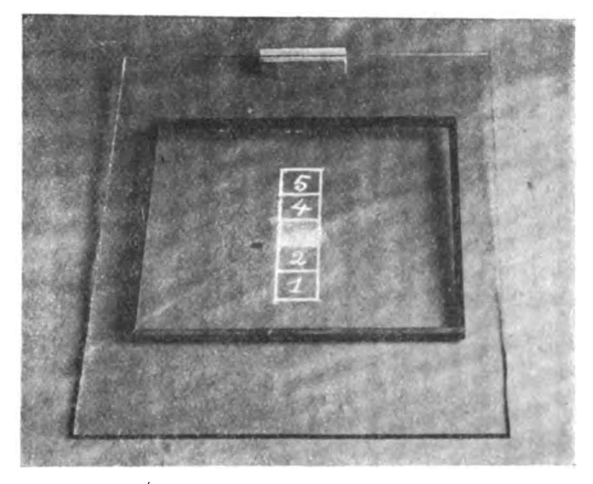


Fig. 4.

Hier folgen einige Beispiele der gefundenen Zahlen.

	Quadrat 1	Quadrat 3	Quadrat 5
1. Holzklotz (2 cm) .	3,37	2,93	2,02
2. „ (4 cm) .	4,12	2,58	0,71
3. „ (6 cm) .	5,24	1,38	0,66

7. Verteilung zweier Gase verschiedener Dichte in einer Atmosphäre.

Diese Demonstration geschieht nach der Weise von Nr. 5, aber mit zwei Arten von Kügelchen. Ich wähle die mittleren und die kleinsten; mit den größten hüpfen bei den Stößen zu viele kleine Kügelchen fort.

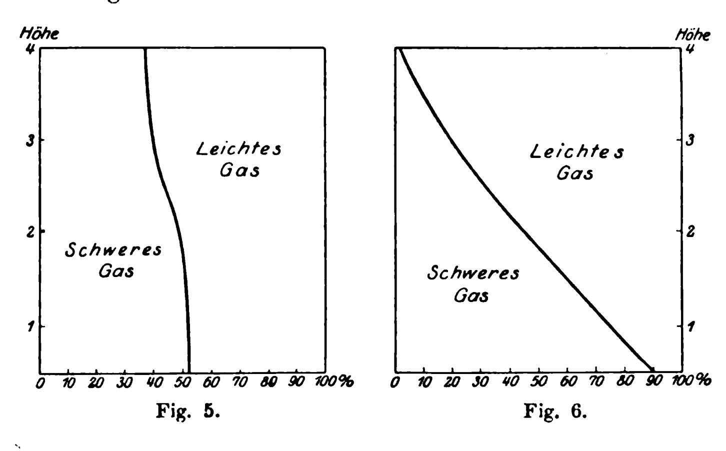


Fig. 5. Fig. 6.

Man läßt den Hilfsrahmen einige Male niederfallen und zählt für die einzelnen Streifen die Kügelchen jeder Art zusammen. Für jeden Streifen berechnet man wieviel Prozent z. B. der mittleren Art angehört. Die Zusammensetzung der Atmosphäre in verschiedenen Höhen kann dann graphisch gezeichnet werden (Fig. 5 bei kleiner, Fig. 6 bei großer Neigung der Glasplatte). — Ich glaube nicht, daß ohne Zählung die Unterschiede deutlich genug hervortreten würden.

Diese Demonstration ist wichtig für Schlüsse auf die Zusammensetzung der Erdatmosphäre in großen Höhen. Diese besteht dort sicher hauptsächlich aus Helium und Wasserstoff, vielleicht auch aus Geocoronium.

8. Die Brownsche Bewegung.

Wenn wir die Platte wieder wagerecht legen und eine Holzkugel von 3,3 cm Durchmesser zwischen die großen Kugeln stellen, haben wir ein Modell, das vorzüglich das Wesen der Brownschen Bewegung darstellt. Auch hier wird man nicht müde, dem Spiel des Zufalls zu folgen und die schwere Masse mit ihren zögernden oder schnelleren Bewegungen zwischen den hin- und herrennenden Kugeln zu beobachten. Mit etwas Übung gelingt es, die Kugel während einiger Zeit vor Stößen gegen den Rahmen zu bewahren.

Gerade wegen des völlig Regellosen in diesen Bewegungen ergeben sich wieder statistische Gesetzmäßigkeiten, welche Einstein und v. Smoluchowski theoretisch erörtert, Svedberg, Seddig und Perrin aber experimentell bestätigt haben.

Nun muß der Begriff der „Verschiebung“ vertieft werden. Wir bemerken, daß es unmöglich ist, die wirkliche, äußerst verwickelte Bahn der Holzkugel zu verfolgen. Bestimmen wir aber ihren Ort in Zwischenräumen von z. B. 2 Sekunden und verbinden die erhaltenen Punkte, dann bekommen wir eine „vereinfachte Bahn“. Es genügt, auf dem Tisch unter der Glasplatte Quadrate von 10 cm Seite zu zeichnen; und ähnliche Quadrate in ein Heft (oder an die schwarze Tafel) zu zeichnen. Mit Hilfe dieser Quadrate wird nach den Schlägen eines Sekundenzählers der Ort der Holzkugel jedesmal genau bestimmt. Statt Punkten notiert man aber eine kleine Ziffer, so daß auch die Reihenfolge der einzelnen Lagen angegeben wird. — Die



Übereinstimmung zwischen unseren Zeichnungen (Fig. 7) und den merkwürdigen Figuren PERRINS (Fig. 8) ist sehr schlagend.

Selbst quantitativ kann man versuchen, unsere Zeichnungen zu verwerten. EINSTEIN und v. SMOLUCHOWSKI haben gezeigt, daß die mittlere Verschiebung Δ eines Körnchens von Radius r nach einer Zeit t gegeben wird durch die Beziehung:

$$\frac{\Delta}{\sqrt{t}} = \frac{\text{const}}{\sqrt{r}}.$$

Mit Zirkel und Maßstab messen wir die verschiedenen Verschiebungen der Holzkugel und bilden das Mittel; es ergab sich nach meinen Zeichnungen:

Mittlere Verschiebung nach je 2 Sek.: 10,2 (Einheiten der Zeichnung)
„ „ „ „ 4 „ : 14,2 („ „ „).

Das Verhältnis ist zufällig fast genau $\sqrt{2}$, wie es auch sein muß.

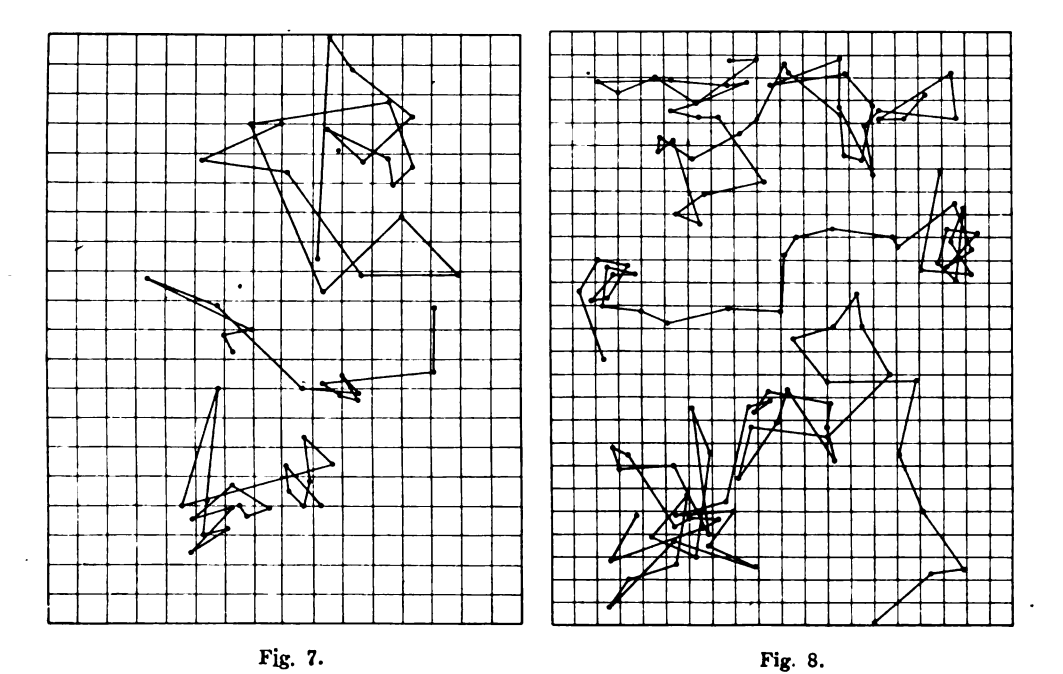


Fig. 7. Fig. 8.

Weiter wurden die mittleren Verschiebungen je nach 2 Sekunden für eine große und für eine kleine elfenbeinerne Kugel bestimmt. Die gefundenen mittleren Verschiebungen waren 7,5 und 18,1. Quantitativ konnten diese Ergebnisse nicht verwertet werden, weil die Oberfläche der großen Kugel rissig und ziemlich unregelmäßig war. Mit größeren Stahlkugeln würden sich viel schönere Resultate erhalten lassen; sie sind aber zur Zeit nicht leicht zu beschaffen. — Übrigens soll bemerkt werden, daß für diese Kugeln ein Zeitintervall von 2 Sekunden verhältnismäßig zu klein ist, so daß wohl die Grenzen überschritten werden, innerhalb welcher die Δ-Formel gültig ist.

9. Diffusion.

Die Geschwindigkeit, mit der ein Gas durch eine enge Öffnung ausströmt, ist für eine gegebene Temperatur der Quadratwurzel seines Molekulargewichtes umgekehrt proportional. Dieser Satz folgt direkt aus der Beziehung $m_1 C_1^2 = m_2 C_2^2 = \text{const}$. Er läßt sich aber auch aus der Aerodynamik ableiten.

In der Mitte einer Seite des Rahmens wird eine Öffnung von 3 cm Länge hergestellt; der Rahmen wird dort durch ein kleines Eisenplättchen zusammengehalten, unter

welchem die Kugeln bequem durchrollen können. Nun werden die mittleren und die kleineren Kügelchen in gleicher Zahl miteinander gemischt und man fängt an, den Rahmen zu bewegen. Nach und nach rollen einige Kugeln durch die Öffnung hin; am besten zählt man sie sogleich und setzt das Experiment fort, bis etwa 20 der kleinen Kugeln ausgeströmt sind. Für die während derselben Zeit ausgeströmten mittleren sollte man 10 finden, weil ja die Massen der Kügelchen sich verhalten wie 4 : 1 (wie für Krypton-Neon z. B).

Ich fand nacheinander: 9, 11, 8, 9, 9, 10, 5, 9.

Ich bemerke noch, daß eine regelmäßig drehende Bewegung auch hier die besten Zahlen ergibt.

Die Demonstration ist zugleich ein Bild der Methode von RAYLEIGH und RAMSAY zum Trennen von Stickstoff und Argon.

10. Überdruck und Unterdruck infolge von Diffusion durch eine poröse Wand.

Ein sehr anschauliches Bild dieses bekannten Diffusions-Experimentes läßt sich geben, wenn man die Öffnung des Rahmens wieder schließt und den Rahmen durch einen Querstab in zwei gleiche Hälften A und B teilt; dieser Stab hat auch an den Enden zwei Plättchen, welche über die zwei Stifte gleiten (wie der Hilfsapparat Nr. 5), und hat in der Mitte eine Öffnung von 3 cm, die durch ein Eisenplättchen überbrückt ist. — Bringt man nun die mittleren Kugeln einerseits nach A, die kleineren nach B und fängt an zu schütteln, so sieht man sehr bald, daß viele Kugeln aus B nach A rollen, wenige dagegen aus A nach B. Alsbald befindet sich der weitaus größte Teil der Kugeln in A. Setzt man das Experiment fort, so soll theoretisch der Unterschied ein Maximum erreichen und dann allmählich abnehmen; nach unendlich langer Zeit soll man beiderseits die gleiche Zahl finden.

Genau auf diese Weise verläuft auch unsere Demonstration. Ich zählte die Kugeln beiderseits nach je 15 Sekunden und stellte die Differenz graphisch als Funktion der Zeit dar. Es ergab sich Fig. 9. Im Anfang hatte ich beiderseits 70 Kugeln; nach 3—4 Minuten ist die Differenz maximal: es waren dann 115 Kugeln in A, 23 in B (3 waren fortgehüpft!).

Die Demonstration bringt sehr deutlich alle Teilvorgänge zum Bewußtsein: a) Molekeln der Art 1 strömen von A nach B; b) dieselben von B nach A; c) Molekeln der Art 2 von A nach B; d) dieselben von B nach A. Die Geschwindigkeit des Teilvorganges a) ist der Zahl Molekeln der Art 1 in A proportional; usw.

11. Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre als Wahrscheinlichkeitssatz.

Im Anschluß an MÜLLER-POUILLET (III, S. 757) behandeln wir als Beispiel eines irreversiblen Vorganges die Ausdehnung eines Gases in einem luftleeren Raum. Es soll gezeigt werden, warum der umgekehrte Vorgang nie „von selbst“ stattfindet.

Zwischen den zwei Nägeln spannen wir einen gut sichtbaren baumwollbesponnenen Draht, der den Rahmen in zwei gleiche Hälften teilt. Wir legen nun eine einzige Kugel in den Rahmen und bewegen diesen. Je nach 2 Sekunden genau auf den Schlag, wird aufgezeichnet, ob die rechte Hälfte entweder leer ist oder die Kugel enthält. Mit 2 Kugeln wiederholt man die Messung und zeichnet wieder auf wievielmal die rechte Hälfte leer ist. Dann mit 3, 4 Kugeln, usw.

Die Wahrscheinlichkeit, daß man die rechte Hälfte leer findet, ist

	theoretisch	gefunden
mit 1 Kugel	50 %	52 %
„ 2 Kugeln	25 %	34 %
„ 3 „	12 %	11 %
„ 4 „	6 %	8 %

Diese Zahlen wurden je aus 55 Aufzeichnungen berechnet.

Mit 1 Million Kugeln würde die Wahrscheinlichkeit praktisch Null sein: es kommt nie vor, daß sich ein Gas „von selbst“ nach einer Seite eines Behälters hindrängt, was die Diffusion rückgängig machen würde.

12. Dissoziation.

Ein für die physikalische Chemie äußerst wichtiger Begriff ist die kinetische Vorstellung eines dynamischen Gleichgewichtes. Glücklicherweise sind wir in der Lage, mit unserem Modell eine recht anschauliche Darstellung eines solchen Zustandes zu geben.

Dazu bringen wir unsere Stahlkugeln hintereinander gegen die Pole eines kräftigen Elektromagnets; obwohl sie dadurch nur ziemlich wenig magnetisch werden, sind die Anziehungen der Kugeln aufeinander sehr deutlich, sobald sie auf die Glasplatte kommen, wo ihre Bewegung fast ganz ungehindert stattfinden kann. Sie bilden nun kleine Schwärmchen, welche z. B. Gasmolekeln vorstellen.

Jetzt bewegen wir den Rahmen, vom Anfang an ziemlich schnell, aber mit kleiner Amplitude. Allmählich steigern wir dieselbe; durch die „Temperaturerhöhung“ findet „Dissoziation“ statt; bald sehen wir, wie sich nur noch eine kleine Zahl Doppelatome vorfindet, z. B. $1/5 = 20\,\%$, während $80\,\%$ dissoziiert sind. Dann kann man am schönsten beobachten, wie fortwährend einige Molekeln dissoziiert, andere neugebildet werden; das Verhältnis $1/5$ bleibt aber ungefähr konstant: dynamisches Gleichgewicht. — Wenn die Amplitude etwas beträchtlich wird, sind alle Kugeln einzeln. Schließlich verkleinert man wieder die Bewegungen und die Erscheinungen folgen wieder einander, aber im umgekehrten Sinne.

Man kann etwa an Schwefeldampf denken, wo mehratomige Molekeln bei steigender Temperatur erst in zwei Teile getrennt werden, jeder Teil dann wieder selbst auseinander fällt, usw.

$S_8 \rightleftarrows 2\,S_4$ bei $467^0\,9$: im Mittel 7,94 Atome pro Molekel.
$S_4 \rightleftarrows 2\,S_2$ „ 860^0 : „ „ 2,23 „ „ „
$S_2 \rightleftarrows 2\,S$ bei $> 1800^0$.

Die angegebenen Beispiele zeigen, wie vielseitig verwendbar das Modell ist. Die gefundenen Zahlen sind meist nicht genügend, um quantitative Beziehungen genau zu verifizieren; sie geben aber schon manchen nützlichen Anhaltspunkt. Ich bin davon überzeugt, daß mit einer mechanischen Einrichtung, wie die PFAUNDLERS z. B., und mit einer großen Zahl Messungen sehr schöne Resultate erhalten werden könnten. Es wäre wohl interessant, auf diese Weise die BROWNsche Rotationsbewegung und die Schwankungen in der Dichtigkeit zu verfolgen; die Ausströmung eines einzigen Gases würde ein quantitatives Beispiel einer Exponentialfunktion sein, und man könnte die Kurve Fig. 9 vergleichen mit der theoretischen Gleichung (Lage des Maximums).

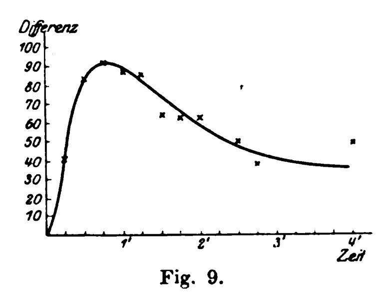


Fig. 9.

Dabei geht aber die Einfachheit des Modells verloren. Und in dieser dürfte wohl ein großer Vorzug liegen, sowohl aus praktischen wie aus pädagogischen Gründen.

Übrigens bleibt die Hauptsache: Bei jeder theoretischen Erklärung über die Molekularhypothese soll das Modell auf dem Tisch liegen. Es soll jede Überlegung anschaulich und konkret machen und immer ein Anhaltspunkt sein für die Gedanken des Schülers.

Versuche mit schwimmenden Magneten.

Von Geh. Studienrat Dr. G. Looser in Essen.

1. Die im folgenden mitgeteilten Schulversuche über Wirkungen des magnetischen Feldes weichen insoferne von den meist üblichen ab, als sie an Stelle der gewöhnlich erzeugten drehenden Bewegung die fortschreitende zur Veranschaulichung benutzen.

Ich beschreibe zunächst den von mir benutzten Schwimmer (Fig. 1). An ein Glasrohr von geringer Wandstärke (0,25 mm) und annähernd 4 mm äußerem Durchmesser bläst man unter Stauchung des Rohres eine Kugel von ungefähr 2,5 cm Durchmesser an. An zwei Stellen, etwa 6 – 7 cm von der oberen Kugelfläche sowie vom unteren Ende des Rohres zieht man dieses so weit aus, daß man eine dicke Stricknadel von 22 cm (der gewöhnlichen Länge) gerade noch durchschieben kann. Die Einschnürungen haben einen doppelten Zweck, erstens sollen sie der Stahlnadel eine stabile, einigermaßen zentrierte Lage geben, zweitens soll die untere den für die spätere Gewichtsregelung des Schwimmers erforderlichen Belastungsdraht tragen.

Fig. 1.

Bei der Einführung der Nadel sind einige Vorsichtsmaßregeln zu beobachten. Die Kugel ist naturgemäß ziemlich dünn, da das Biegerohr nur geringe Wandstärke besitzt, auch wenn man sie durch Stauchen des Glasrohrs einigermaßen stärker macht. Bei zufälligem unvorsichtigem Umkehren des fertigen Schwimmers schlägt die Nadel an die dünne Kugelwand und führt so leicht zum Bruche. Sie darf daher höchstens einen Spielraum von 1—1,5 cm haben. Vor dem Zuschmelzen der Röhre zieht man diese unten so weit in eine Spitze aus, daß die Nadel gerade noch hindurchgeht, läßt die Nadel bis zur oberen Kuppe der Kugel gleiten und schmilzt nun zu. Da hierbei die Nadel den Abstand von $\sim$ 1,5 cm von der Schmelzstelle hat, so ist die Gefahr vermieden, daß die kalte Nadel bei Berührung mit dem heißen Glase dieses sprengt. Der verhältnismäßig geringe Spielraum, den die Nadel jetzt beim Umkehren hat, verhindert die Zerstörung der Kugel. Es empfiehlt sich, die Spitze, wenn sie noch vom Schmelzen weich ist, dadurch etwas aufzuweiten, daß man die Kugel vorsichtig an der Flamme um ein geringes erwärmt. Die Abmessung der Kugel muß sich natürlich nach Wandstärke und Dicke des verwendeten Biegerohrs richten und durch Vorversuch ausprobiert werden. Sie darf nur so groß sein, daß der Schwimmer, in Wasser getaucht, mit der Kugelkuppe eben noch über das Wasser herausragt. Verfasser hat auch statt einer dicken Nadel drei gebündelte dünne versucht. Der Unterschied war gegenüber der großen Steighöhe bei den Versuchen kaum zu merken. Es folgt nun die Regelung des Schwimmers für Wasser von 18—19 Grad. In diesem soll er unbelastet höchstens 1 mm mit der Kuppe herausragen. Man dreht zwei Stücke dünnen ausgeglühten Messing- oder Kupferdraht, (oder Bleidraht[1]) der in Papilloten verwendet wird) von 5 – 6 cm Länge an einem Ende zusammen, macht nun über einem Eisenstift eine Schlinge, führt diese über die untere Verengung und dreht dann die anderen Enden mit der Flachzange zusammen. Mit dieser Belastung soll der Schwimmer in Wasser von Zimmertemperatur untersinken. Durch Abkneifen,

[1]) Da Bleidraht nicht überall leicht erhältlich ist, so scheint es vielleicht nicht überflüssig mitzuteilen, wie man leicht die zum Beschweren ausreichenden Bleistreifen sich selbst aus Bleirohr herstellen kann. Man schneidet bei kräftigem Messerdruck unter Hin- und Herdrehen des Bleirohrs von etwa Fingerdicke 1 – 2 mm breite Streifen ab, schneidet die so erhaltenen Bleiringe an einer Seite auf, streckt sie und hämmert sie auf eiserner Unterlage platt. Hiervon schneidet man mit Schere oder Messer Streifen von 0,5 mm Breite ab. Sie sind genügend haltbar, lassen sich sehr bequem um die Einschnürung legen und sind leicht zu regeln oder durch neue zu ersetzen.



umschichtig an beiden Drahtenden, erreicht man, daß der Schwimmer endlich ohne Beschleunigung ganz langsam untersinkt. Ist er bei zu starker Verkürzung zu leicht geworden, so dreht man an die Drähte kleine Stücke von dünnstem Draht, z. B. von einer übersponnenen Violinsaite (G) oder dem Drahte, der in Bündeln zu Leitungsschnüren verwendet wird. Diese Regelung nimmt man etwa 14 Tage nach der Anfertigung des Schwimmers vor, wenn man sich die Mühe nicht verdrießen lassen will später nochmals zu regeln. (Dann kann man nämlich die Tatsache durch Versuch nachweisen, die bei Anfertigung der Thermometerrohre eine so große Rolle spielt, sie wird wohl erwähnt aber selten nachgewiesen, ich meine die Zusammenziehung des Rohres nach dem Blasen. Ein frisch angefertigter Schwimmer ist, unmittelbar darauf reguliert, nach drei Tagen schon zu schwer, und diese Zusammenziehung dauert über ein Jahr hinaus. Verfasser beobachtete dies an Kaltwasserchwimmern, die ja noch viel feiner geregelt werden müssen.)

An sehr heißen Tagen ist natürlich der auf 18⁰ eingeregelte Schwimmer zu schwer für die Versuche. Man hilft sich entweder damit, daß man sich eine neue Drahtschlinge anfertigt, und die bisherige für den Winter aufhebt, oder auch dadurch, daß man Kochsalzlösung solange zusetzt, bis der Schwimmer wieder ganz langsam sinkt. Der des Verfassers braucht für einen halben Meter 105 Sekunden.

Der Schwimmer hat die Neigung, sich an das Glas anzulegen. Adhäsion und Kraftlinienrichtung scheinen hier zusammenzuwirken. Die abstehenden Drahtgewichte verhindern zwar das vollständige Anschmiegen an die Gefäßwand, erzeugen jedoch an dieser immerhin einige Reibung. Der Unterschied zwischen dieser und der richtigen Stellung ist ganz unbedeutend. Um nicht durch Luftblasen aus dem Wasser gestört zu werden, nimmt man abgestandenes.

2. Zu einleitenden Versuchen über die Stärke magnetischer Felder habe ich ein mit Wasser gefülltes Standglas von 1 m Höhe benutzt (vergl. Fig. 2). Dieses wurde auf zwei Brettchen gestellt, die soviel Zwischenraum ließen und so dick waren, daß man zwei flache Magnetstäbe, über- oder nebeneinander gelegt, dazwischen schieben konnte. Man beobachtet die jedesmalige Steighöhe des Schwimmers, am besten durch Ablesung der Stellung des unteren Schwimmerendes, unter Benutzung eines biegsamen am Standglase befestigten Zentimetermaßstabes.

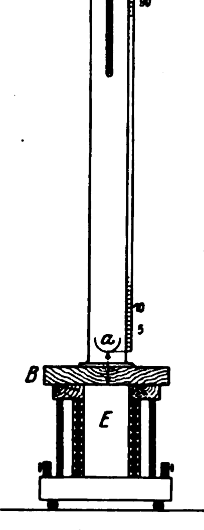


Fig. 2.

Lehrreicher noch sind die Versuche mit einem Elektromagneten (Fig. 2). Bei wechselnder Stromstärke durch Anlegen von 2, 4, 6, 8, 12 Volt Spannung (vermittelst Akkumulatoren) gibt das Steigen des Schwimmers ein recht anschauliches Bild von der wachsenden Stärke des magnetischen Feldes, die sich mit der Sättigung des Elektromagnets einem Maximum nähert. Am deutlichsten tritt dies hervor wenn man den Zusammenhang graphisch darstellt. Bei diesen Versuchen muß die untere Spitze der Nadel einen Mindestabstand von 7 cm von dem Elektromagneten haben, andernfalls wechselt die zu große Annäherung die Polarität der Nadel.

Noch auf einen Umstand sei hier hingewiesen. Wenn man die oben angeführte Versuchsreihe rückwärts, also mit abnehmenden Stromstärken macht, so geht der Schwimmer nicht genau auf die früher angezeigten Stellen zurück. Bei einer nochmaligen unmittelbar nach der ersten Versuchsreihe (auf und ab) angestellten Beobachtung zeigten die Zahlen jedoch beim Auf- und Absteigen geringere Unterschiede. Dies dürfte dem allmählichen Warmwerden der Drähte durch den Strom zuzuschreiben sein.

Immerhin mögen auch Adhäsion, Reibung, Beharrungsvermögen, sowie ev. Änderung in der Temperatur des Wassers oben im Standglase einen gewissen Einfluß haben, der jedoch im Vergleich zu den starken Steighöhen von geringer Bedeutung ist.

Will man also recht vorsichtig sein, so erwärme man die Drähte, indem man vor Beginn der Versuchsreihe eine kurze Zeit lang stärkeren Strom (12 V.) durchschickt, macht die Versuchsreihe erst auf-, dann abwärts und nimmt das arithmetische Mittel.

An die beschriebenen Versuche lassen sich noch ähnliche wie die bei Verwendung des Stabmagneten bereits angedeuteten anstellen, deren Beschreibung hier zu weit führen würde. Auch dabei kommt man zu beachtenswerten Ergebnissen, wenn man den Elektromagnet horizontal um gleiche Abstände verschiebt. Man kann ihn stehend und liegend verwenden und wird noch verschiedene Nebenerscheinungen wahrnehmen.

3. Einer der interessantesten Versuche ist der

Nachweis der kreisförmigen Kraftlinien des elektrischen Stromes durch freischwimmende Magnetnadeln.

Man befreit die Magnetnadel von ihrem Ausgleichgewichte, so daß sie also im wahren Sinne des Wortes schwimmt und gibt ihr, wo nötig ein neues, so daß sie möglichst wenig aus dem Wasser herausragt. Einen Glastrog, so wie er für Akkumulatoren verwendet wird, füllt man mit Wasser. Hier darf auch frisches benützt werden, da Luftblasen nicht von störender Wirkung sind. Auch die Temperatur spielt keine wesentliche Rolle. Die Wasserhöhe richtet sich nach der Länge des Schwimmers. Er soll etwa 1 cm vom Boden des Glasgefäßes abstehen.

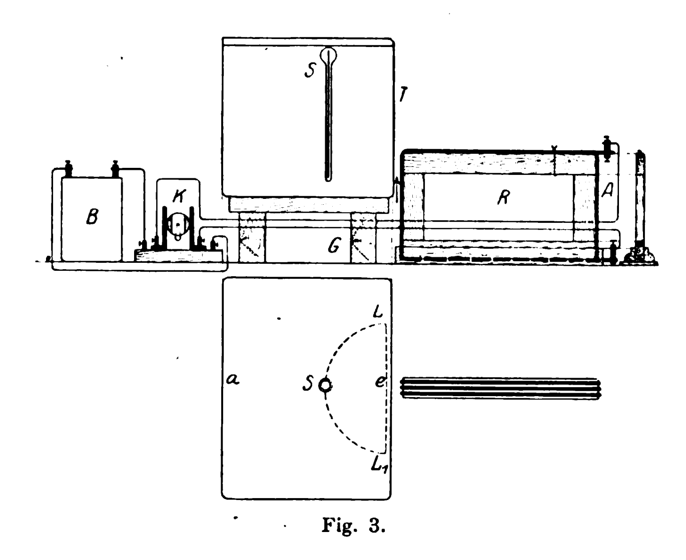


Fig. 3.

Man bedarf nun ferner eines Holzrahmens R (Fig. 3), dessen Teile zusammengeleimt oder verkeilt werden; Eisennägel sind zu vermeiden. An den Ecken des Rechtecks feilt man mit einer Rundfeile zwei oder, bei Verwendung von drei Drahtwindungen, drei Hohlkerben, um zu scharfe Biegungen des 2 mm starken Leitungsdrahtes zu verhüten. Die Abmessungen des Rahmens sind so getroffen, daß z. B. der absteigende Strom im Rahmenteil A auf den Schwimmer keinen merklichen Einfluß mehr ausübt. Das äußere Rechteck von R ist 33×17, die Holzdicke ist so gewählt, daß drei isolierte Drahtzüge Platz haben. Es genügen indessen auch zwei. Für einige Versuche steht er in einer auf dem Grundbrett befestigten Holzrinne, deren Querschnitt rechts vom Rahmen ersichtlich ist (dritte Projektion). Eisenstative sind nicht zu benutzen wegen der Rückwirkung auf die Magnete. Aus demselben Grunde sind auch die meisten für optische Zwecke, nach Art der Aquarienkästen aus Spiegelglas zusammengesetzten Behälter nicht zu verwenden, es sei denn, daß sie mit Messingstreifen zusammengefügt sind. An die mit Polklemmen versehenen Enden des Drahtrechtecks schließt man Stromwender (K) und Akkumulatorbatterie (B) an. Man benötigt bei drei Windungen eine elektromotorische Kraft von 4—6 Volt. Die Befestigung des möglichst langen Stromrechtecks am Rahmen geschieht entweder durch starken Bindfaden oder durch Messingdraht. Des guten Haltens wegen bringe man zwei Schlingen an jeder Rechteckseite an, nur die dem Trog zugewandte lasse man unbefestigt. Die Seite T des Troges steht dem Beschauer gegenüber, Stromwender k und Batterie an der Parallelwand.

Den eben beschriebenen Rahmen setzt man in seine Tragrinne, und zwar so vor die Mitte der dem Zuschauer zugekehrten Glaswand T, daß etwa die Mitte des oberen Rahmendrittels dem Pol des Magnetschwimmers gegenübersteht. Natürlich muß zu dem Zwecke der Trog erhöht stehen, Verfasser benützt dazu den Isolierschemel. Da der gefüllte Trog schwer fortzubewegen ist, füllt man ihn erst nur halb, und erst, wenn er seine richtige Stelle hat, das übrige Wasser nach. (Ablassen mittelst Heber.) Wegen späterer an diesen anschließende Versuche fülle man möglichst bis zum Rande. Man setzt jetzt den Schwimmer S ein, etwa 4 – 6 cm von der Glaswand entfernt, in die Ebene des Stromrechtecks, am besten mittelst in ein Glasrohr eingeschlossener magnetischer Stricknadeln (ohne Berührung), und kann dann folgendes zeigen.

Versuch 1. Man schließt den Strom, der Magnet bewegt sich in der Tangente der Kraftlinie, die der Vorderwand parallel ist. Man läßt ihn sich 1 cm weit bewegen, kehrt den Strom um und wiederholt dies, damit der Hörer sich bewußt wird, daß der Magnetpol dem Zwang des Kraftfeldes gehorcht.

Versuch 2. Man bringt die Nadel mit dem Bündelmagnet, den man über dem Wasser hält, wieder an seine frühere Stelle und schließt den Strom. Der Magnet bewegt sich im Viertelkreis nach der Glaswand. Ehe er dort ankommt, kehrt man (um die Adhäsion an sie zu verhindern) den Strom um, dann wandert der Magnet in sicherer und ruhiger Bewegung, so daß man den Weg in der Kraftlinie bequem verfolgen kann, im Halbkreise an die der vorigen Lage symmetrische Stelle der Wand. Dort angekommen, wandert er der Glaswand entlang bis fast in den Mittelpunkt des Kreisweges. Die Adhäsion hindert ihn, genau bis dorthin zu kommen. Die Erscheinung hat ihre einfache Erklärung darin, daß das außerhalb des Troges befindliche Kraftfeld auf ihn einwirkt, daß aber nur die der Glaswand parallele horizontale Komponente zur Wirkung kommen kann.

Versuch 3. Der Versuch läßt sich noch in folgender lehrreicher Weise abändern. Man nimmt den Rahmen in die Hand, hält ihn zunächst wie in dem vorhin beschriebenen Versuch, läßt den Magnetschwimmer seinen Halbkreis machen. Hält man jetzt den Rahmen so viel höher, daß das untere Ende nunmehr dem oberen Pole gegenübersteht (was gleichbedeutend mit Stromwechsel ist), so bewegt sich der Schwimmer nun in entgegengesetztem Sinne, genau wie vorher beim Polwechsel. Bringt man dann den Rahmen so, daß Nadelmitte und Rahmenmitte (des lotrechten Teiles) sich in gleicher Höhe befinden, so steht die Nadel vollständig still, was leicht zu begreifen und zu erklären ist, da der Strom auf die beiden Pole des Schwimmermagneten nunmehr in entgegengesetztem Drehungssinne wirkt.

Versuch 4. Anschließend an diese Versuche wird man auch den Rahmen nun so halten, daß der obere Pol der Magnetnadel in dessen Achse fällt. D. h. der Rahmen wird parallel zu einer Glaswand T des Troges gehalten, so daß die auf dem Mittelpunkt der Ebene des Rahmenrechtecks senkrecht stehende Achse durch den Magnetpol geht. Dann bewegt sich, wie zu erwarten ist, die Nadel in dieser Linie, je nach Stromrichtung gerade auf die Rahmenmitte zu oder von ihr ab.

Der eben beschriebene Versuch dürfte sich wohl für die Erläuterung der Theorie des Kraftfeldes lohnen, da er doch gewissermaßen zwei Versuche in sich vereint. Um den Sinn der Kraftlinien zu zeigen, pflegt man sonst doch erst nachzuweisen, daß ein Magnetpol, und dann in welchem Sinne er sich um einen senkrechten Stromleiter dreht. Dazu sind besondere Apparate nötig, und die mit Quecksilberrinne sind nicht gerade sehr beliebt. Zugleich zeigt sich aber bei meiner Anordnung auch die Kreisform der Kraftlinien und zwar, ich möchte sagen spontan, ohne daß man den Magnet durch eine feste Achse, wie bei den Faradayschen Apparaten zwangläufig in eine Kreisbewegung zu zwingen braucht. Die Genauigkeit der Kreisbahn ist dabei weit größer als bei dem Versuch mit Eisenfeilicht.



Versuch 5. Die Kraftlinien im Feld eines Magnetstabes lassen sich, wenn man einmal den gefüllten Trog zur Hand hat, ebenfalls sehr gut nachweisen; am besten mit Zuhilfenahme eines zweiten Schwimmers. Man stellt unter den Trog zwei Bretter, so daß man gerade einen Magnetstab zwischen dieses und den Trogboden schieben kann. Schwimmen die beiden Nordpole oben, so schiebt man den gleichnamigen Pol des Stabmagneten eben unter den Trogboden. Die beiden wieder bis eben zum Untersinken beschwerten Schwimmer stellen sich mit ihren Südpolen auf den Boden in etwas schräger Richtung an den Rand des Gefäßes. Schiebt man jetzt den Stab rasch (nicht zu rasch) ganz unter den Trog, so stieben die beiden Schwimmer auseinander und vereinigen sich, eine Kraftlinie beschreibend, wieder über dem nunmehr in seiner Lage veränderten Nordpol.

Versuch 6. Der Verfasser glaubte, da das Stromfeld auch noch in 10 bis 15 cm Abstand vom Troge merklich wirkte, eine volle Kreisdrehung und damit beständige Kreisbewegung dadurch zu erzielen, daß er den Rahmen mit dem senkrechten vorderen Teile über die Mitte der Wasserfläche hielt (Fig. 4). Setzt man den Schwimmer 5 bis 6 cm von dem Drahte entfernt ein, so macht er auch die erwartete Halbkreisdrehung, gerät danach aber (siehe Versuch 4) in das Kraftfeld des horizontalen Stromleiters, der ihn nach vollendeter Halbdrehung vom Punkte P aus abtreibt, so daß er im ganzen in einer Art Parabel $NP \cdot r$ an die Vorderwand des Troges nach r geht. Durch diese nicht vorhergesehene Wirkung kam der Verfasser auf folgenden Versuch.

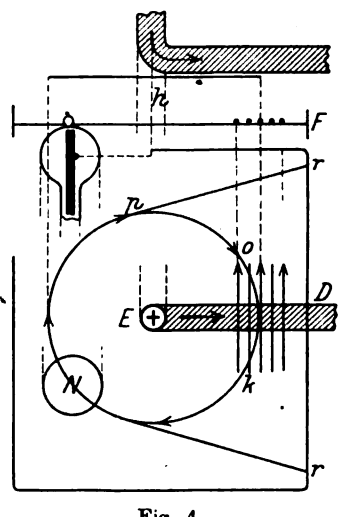


Fig. 4.

Versuch 7. Setzt man den Drahtrahmen quer mit der unteren Seite über den Glastrog (in der Richtung, in der er beim vorigen Versuche stand), so stehen ja jetzt die Ebenen der Stromkraftlinien senkrecht zum Drahte. Der oben schwimmende Pol des Nadelmagneten wird also von den unten verlaufenden beeinflußt. Setzt man die Nadel nun etwa in die Mitte des Troges ungefähr 3 cm von dem Leitungsdrahte entfernt, so geht er infolgedessen, wie man erwarten konnte, senkrecht vom Drahte an dessen andere Seite. Ist er dort in der Entfernung von 3 cm angelangt, so kehrt man die Stromrichtung um. Wiederholt man dies, so bewegt sich der Schwimmer nun fortwährend im Zickzack. Läßt man ihn zu weit gehen, so treibt ihn das Beharrungsvermögen aus dem wirksamen Bereiche des Kraftfeldes und er kehrt nicht zurück, sondern beschreibt die im vorigen Versuche gezeigte Art Parabel.

Versuch 8. Man erhält eine weitere Bestätigung des Verlaufs der Kraftlinien, wenn man den Schwimmer, wie beim Faradayschen Apparate, eine zwangläufige Bewegung gibt. Das geschieht, indem man den Schwimmer nach Art einer Boje am Boden festhält. Man erreicht dies am einfachsten dadurch, daß man einen Magnetpol (M) über die Mitte des Trogbodens legt (Fig. 5). Wem die Nähe des Poles (der sehr wenig und außerdem überall die gleiche Wirkung auf den schwimmenden oberen Pol ausübt) bedenklich erscheint, kitte mit Wachs einen ganz kurzen Faden einmal an das andere Ende des Schwimmers, sodann an eine kleine Bleiplatte (B) und leere im ersten Falle den Trog so weit, daß der Schwimmer ungefähr den in Figur 5 ersichtlichen Winkel mit dem Boden macht. Bei Benützung des Fadens macht man diesen so lang, daß bei gefülltem Trog der Schwimmer die gewünschte schräge Lage erhält. Dies hat den Vorteil, daß der Rahmen noch näher an den schwimmenden Pol herantritt. Einfacher ist es immerhin mit dem untergelegten Magnet.

Macht man jetzt den vorigen Versuch, so kommt der Schwimmer an einem Punkte in der Nähe von o (Fig. 4) zum Stillstehen. Man kann ihm

durch kurz währende Umkehr des Stromes über den Berg helfen bis (k), von da ab nimmt er seine vorige Kreisbewegung wieder auf. Daß er bei dieser Umkehr den senkrechten Kraftlinien des Stromes folgt und nicht den wagrechten, beweist, daß, wie oben bemerkt, die ersten stärker sind in ihrer bewegenden Kraft. Beide Versuche zusammen ausgeführt, sind sehr bezeichnend für das Kraftfeld, weil man bei dessen richtiger Erfassung den zweiten voraussagen kann und umgekehrt aus dem zweiten den ersten.

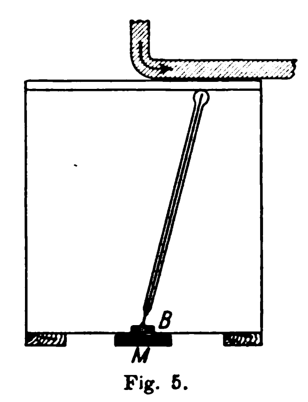


Fig. 5.

Versuch 9. Verhalten eines Solenoids. Man kann in Versuch 5 den Magnet durch ein Solenoid ersetzen, das man über ein schmales Brett auf den Trog legt. Hierbei zeigt sich dann die dem Physiker bekannte Tatsache, daß das äußere Kraftfeld, der starken Streuung der Kraftlinien halber, sehr klein ist im Vergleich zu dem inneren Felde. Die Nadel bewegt sich trotzdem, da das äußere Feld ihr näher ist, nur senkrecht zur Achse des Solenoides, wie in Versuch 4 mit Hilfe des Rahmens. Jede Windung wirkt gewissermaßen für sich als magnetisches Blatt. Im Gegensatz hierzu zeigen die folgenden Versuche mit Stromkreisen, sowie besonders ein um das Standglas in 4 bis 5 Windungen gewickeltes Solenoid durch die Steighöhe des Schwimmers das starke innere Feld.

Versuch 10. Daß das äußere Feld sehr gering ist im Verhältnis zum inneren, zeigt auch der Versuch mit einer starken Eisenplatte, die man in die Nähe der am Standglas angebrachten Stomwindungen hält. Es ändert sich die Wirkung auf den Magnetschwimmer nur wenig, während jeder weiß, wie stark das Kraftfeld zunimmt wenn man in das Innere einer Drahtspule einen Eisenkörper einführt. Wer dies noch genauer nachweisen will, dem empfiehlt sich folgender Versuch (11). Man wickelt aus dem zur Bespannung des Rahmens benutzten dicken Draht ein Solenoid *So* aus 7 bis 8 Windungen so weit, daß das Solenoid über das Standglas *S* herübergeschoben werden kann und zwischen Standglas und Spule noch soviel Zwischenraum bleibt, daß man einige Eisenstäbe hineinsetzen kann. Man läßt nun den Schwimmer steigen. Er ging beim Versuch des Verf. bis 26,5; wurde nun ein Eisenstab von der Höhe der Spule eingeführt, so stieg der Schwimmer noch bis 29, ging nach Wegnahme des Eisens wieder bis 27. Wenn man den Eisenstab nun außen an die Spule stellte, so wurde der Kraftlinienfluß der auf die Nadel wirkt, mehr nach außen, also weiter verlegt und die Nadel sank bis 26,51. Bei größerer Stromstärke waren die Zahlen 29, 32,5 und 27,5. Das Anbringen des Eisenstabes außerhalb der Spule bewirkte also noch ein weiteres Zurückgehen als ohne jedes Eisen.

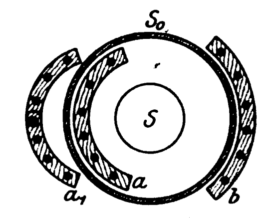


Fig. 6.

Mit mehreren Eisenstäben verstärkt sich natürlich die Wirkung und zeigt deutlich die magnetische Leitfähigkeit des Eisens gegenüber der Luft. Man befestigt die Stäbe, etwa 4 Stück, am besten nach Art der Skizze (Fig. 6) in ein kreisringförmiges Brettchen a. Man kann sie dann mit einem Griff innerhalb und außerhalb der Spule ansetzen Macht man ihrer zwei, so kann man durch gleichzeitiges Einsetzen die Differenz ihrer Wirkungen feststellen (Schülerarbeit). Entsprechend ist ein Brettchen b für den Außenraum hergerichtet. Wer denselben Träger a auch für außen gebrauchen will (a_1) und sich an der zu starken Krümmung stört, mache in der Mitte ein Scharnier.

Zu den Versuchen über Stromkraftlinien kann man sich, wenn nur schwache Stromquellen zur Verfügung stehen, des Rahmens, der in Fig. 7 gezeichnet ist, bedienen. Aus dem Verlauf des Stromes ergibt sich ohne weiteres, daß die obere Hälfte links auf den oberen Pol des Magnetschwimmers in demselben Drehungssinne wirkt,

wie die untere auf den unteren. Man braucht auch zu dieser Stromführung viel weniger Draht.

Noch eine Bemerkung möchte ich über die Wahrnehmung der Bewegung seitens des Hörers machen. Da es sich um eine Horizontalbewegung handelt, so müßte eigentlich, um sie für eine größere Anzahl Zuhörer deutlicher zu machen, ein Spiegel angebracht sein. Dies ist jedenfalls lästig. Ich habe bemerkt, daß man aus der bloßen Beobachtung des Schwimmers von vorne die Kreisbewegung recht gut erkennt, besonders wenn man die Bewegung des unteren Poles über dem Boden des Glastroges ins Auge faßt. Es empfiehlt sich, ein Blatt weißes Papier unter den Trog zu legen, am besten ein mit rechtwinklig sich schneidenden Strichen bedrucktes Linienblatt. Dies kann auch dem Vortragenden die Einstellung erleichtern. Die Hörer sehen von den meisten Sitzen nichts davon wegen der vollständigen Zurückwerfung des Lichts an der Unterseite, können indessen die Bewegung des unteren Pols gut verfolgen.

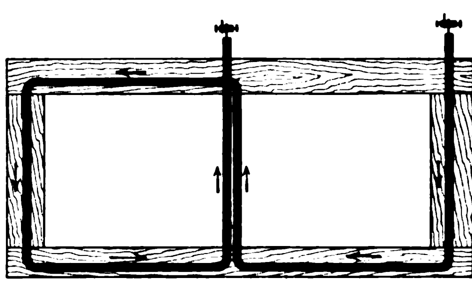


Fig. 7.

Elektrische Momentphotographie.

Von **Paul Schürholz** in Recklinghausen i. W.

In Heft 6 des 26. Jahrganges dieser Zeitschrift ist ein Aufsatz über die elektrische Momentphotographie von Glatzel, der in den „Naturwissenschaften" 1913, Nr. 39 veröffentlicht wurde, auszugsweise wiedergegeben. Es interessierte mich die Frage, ob man mit den immerhin einfachen Geräten, die für den Physikunterricht an der hiesigen Oberrealschule zur Verfügung stehen, einigermaßen ansprechende Aufnahmen würde erzielen können. Es zeigte sich, wie man ja auch vermuten konnte, daß das sehr wohl der Fall ist, wie die beigefügten Bilder bestätigen. Fig. 1 stellt eine Seifenblase dar, die im Momente der Aufnahme ein Schuß zum Platzen brachte. Fig. 2 zeigt den Augenblick, in dem die Kugel aus einem Flobert gerade eine Glasscheibe durchbohrt. Die Kugel selbst steckt in dem dicken Strahle der feinen nach vorne und hinten hervorspritzenden Glassplitterchen. Fig. 3 endlich ist in dem Augenblick aufgenommen, in dem die Kugel eine Seifenblase durchbohrt. Die Einschußstelle ist rechts oben zu sehen. Die Kugel steckt im Innern der Blase. Ebenso kann man leicht die das Geschoß umgebenden Luftwellen und die hinterdrein ziehenden Luftwirbel festhalten. Bei den Bildern, die ich erhielt,

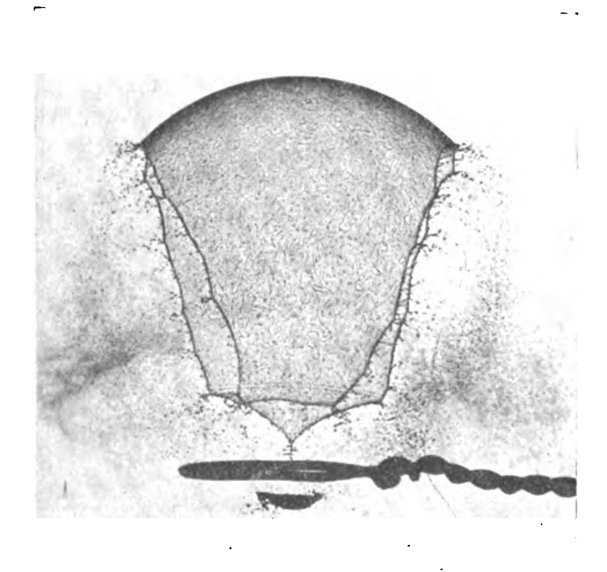


Fig. 1.



sind sie auf dem Negativ sehr wohl zu sehen, indessen, wohl wegen der geringen Geschwindigkeit, die ein Geschoß aus dem Flobert hat, so zart, daß die Einzelheiten beim Drucke verloren gehen würden. Sehr viele interessante Aufnahmen anderer Art lassen sich auf die gleiche Weise herstellen. So zeigt z. B. die Aufnahme eines Wasserzerstäubers deutlich die einherfliegenden feinen kugelrunden Wassertröpfchen, dagegen die Aufnahme des aus einer Flasche unter hohem Druck frei austretenden Kohlensäurestrahls die winzigen Kriställchen der festen Kohlensäure.

Der Krieg, der das Interesse für alle ballistischen Fragen auch bei den Schülern mächtig weckte, gab bald Gelegenheit, den Primanern in einer Stunde diese Dinge praktisch vorzuführen. Dann war ich selbst drei Jahre draußen, so daß ich erst

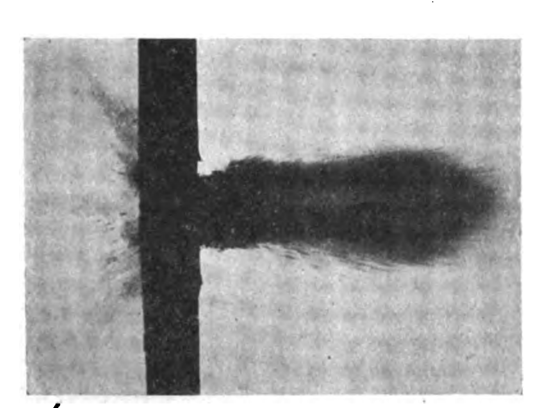


Fig. 2.

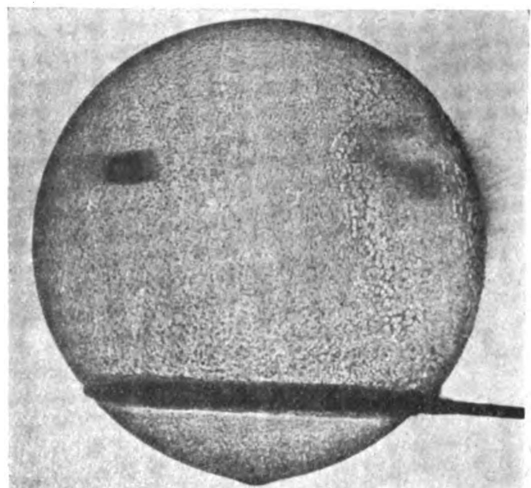


Fig. 3.

jetzt dazu komme, diese kurzen Bemerkungen zu dem oben erwähnten Referate niederzuschreiben. Zwar gehören Versuche dieser Art ja wohl nicht in den Schulunterricht, doch mag dieser oder jener Lehrer den Wunsch hegen, sei es in einer Stunde freiwilliger Übungen, sei es in einer Vertretungsstunde, die ihm in den Schoß fällt, mit seinen Primanern auch einmal einen Versuch mit der elektrischen Momentphotographie zu machen. Die Bilder Fig. 1 und 2 stammen aus einer solchen Stunde. Daß die Schüler mit ganzer Seele dabei sind, braucht nicht weiter betont zu werden. Daß es auch vieles dabei zu überlegen, zu überdenken, zu lernen gibt für die Schüler, wenn der Lehrer es nur richtig anfängt, braucht ebenfalls nicht erörtert zu werden, gilt übrigens ja für jeden, auch den bescheidensten Versuch.

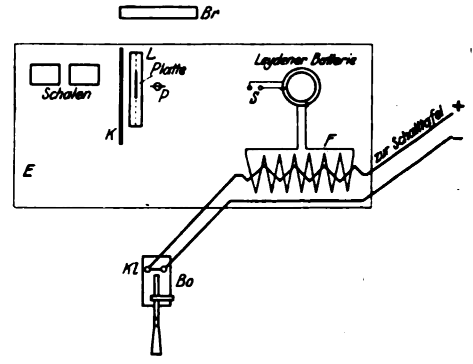


Fig. 4.

Die einfache Anordnung der Geräte für die Aufnahmen Fig. 1—3 stellt die Fig. 4 schematisch dar. E ist der Experimentiertisch. Auf ihm steht bei F der Funkeninduktor für etwa 20 cm Funkenlänge. Von der Schalttafel führt die Leitung zur primären Spule, weiter zu den beiden Holtzschen Fußklemmen Kl, die auf einem Bock Bo etwa 50 cm vor dem Tische stehen, und von dort zurück zur Schalttafel. Zwischen den Holtzschen Klemmen ist ein mehrere Zentimeter langer, etwa 0,7 cm

breiter, mehrfach zusammengefalteter Streifen aus Stanniol ausgespannt. An die sekundäre Wicklung des Induktors sind einige Leydener Flaschen mittlerer Größe, im ganzen etwa 4—5000 E.S.E. parallel angeschlossen. Die Funkenstrecke S wird gebildet aus dünneren Drahtstücken in Holtzschen Klemmen, die man so biegt, daß der kurze, aber kräftige Funke senkrecht zur Schußrichtung, d. h. auch senkrecht zur Ebene der photographischen Platte überspringt und sein Licht, ohne daß der Draht der Funkenstrecke einen Schatten in der Richtung zur Platte wirft, frei ausstrahlen kann (Fig. 5). Man erhält so für die Beleuchtung eine möglichst punktförmige und helle Lichtquelle. Der Funkenstrecke gegenüber in einem Abstande von einem Meter oder auch etwas mehr liegt auf dem Tische die Latte L (Fig. 4) von etwa 50 cm Länge, die mit einer Längsnut versehen ist. In diese Nut steckt man die photographische Platte mit einer Kante ein. Man nimmt zweckmäßig eine Latte von der angegebenen Länge, weil man dann allenfalls mehrere Platten nebeneinander aufstellen kann.

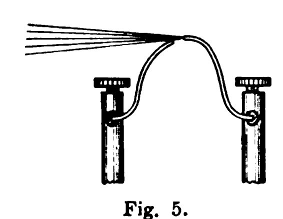


Fig. 5.

Es sei nun angenommen, es sollte ein Bild, wie Fig. 2 es zeigt, aufgenommen werden, also ein Glasstück durchschossen werden. Man wird dann bei P zwischen Funkenstrecke und photographischer Platte das Glasstück in einem Klötzchen aufstellen. An den Bock Bo, der in der Höhe verstellbar ist, wird nun mit einer Schraubzwinge der Flobert unverrückbar festgeklemmt, nachdem er auf das Glasstück eingerichtet ist. Damit man unter der Zwinge hinweg zielen kann, empfiehlt es sich, ein Holzklötzchen Hk (Fig. 6), das mit einer Kerbe versehen ist, zwischen Lauf und oberem Zwingenstück einzuklemmen. Der Stanniolstreifen wird genau in die Schußbahn gerückt, einige Zentimeter von der Mündung der Waffe entfernt. Als Kugelfang genügt für den Flobert von 6 mm Kal. ein dickes Brettstück, das man auf der Rückseite allenfalls noch mit einem Stück Eisenblech benageln kann. Ein Kistchen mit Sand tut die gleichen Dienste.

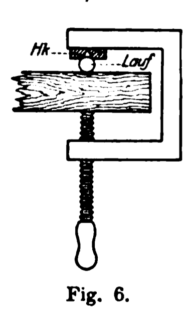


Fig. 6.

Man hat dann noch Funkenstrecke und Stromstärke einander anzupassen. Man wird die Stromstärke so groß wählen, daß man einen recht kräftigen Funken erhält, die Funkenstrecke also nicht allzu kurz zu sein braucht. Wir verwandten einen primären Strom von 15—18 Amp. Man muß sich durch mehrmaliges Schließen und Öffnen des Stromes an der Schalttafel überzeugen, daß wirklich beim Öffnen der Funke jedesmal überspringt und nicht etwa hin uud wieder ausbleibt. Hat man die Vorbereitungen so weit getroffen, auch die Schalen mit dem Entwickler und Fixiersalz und die rote Lampe bereit gestellt, den Flobert geladen (aber noch nicht gespannt), so kann man das Zimmer verdunkeln. Ein Gehilfe stellt sich an die Schalttafel. Nun spannt man den Hahn der Waffe, läßt den primären Strom schließen und zieht ab. Zwischen die Schalen und das Glasstück, das verschossen werden soll, stellt man ein Pappestück K auf, damit nicht Glassplitter in die Schalen fallen.

Es ist zweckmäßig, mit der Aufnahme eines Glasstückes oder eines anderen derben Gegenstandes und nicht etwa gleich mit der einer Seifenblase zu beginnen, weil man dann an der Platte ohne weiteres nachher feststellen kann, ob in dem Augenblicke, als der Funke aufblitzte, die Kugel das Glasstück schon erreicht hatte oder nicht. Die Selbstinduktion des Induktors und die Kapazität der angeschlossenen Leydener Flaschen haben ja einen Zeitunterschied zwischen dem Zerreißen des primären Stromkreises und der Funkenentladung im Gefolge, den man auszuprobieren hat. Würde man etwa gleich eine Seifenblase benutzen, so wäre es immerhin möglich, daß die Seifenblase vor der Schußauslösung unbemerkt — man hat ja nach dem Aufstellen der Platte nur noch das rote Licht der Dunkelzimmerlampe zur Ver-

fügung — zerplatzt wäre. Das könnte zu falschen Schlüssen über die Zeitdauer der Verzögerung führen. Am zweckmäßigsten ist es, etwa 4 Platten nebeneinander in der Latte L aufzustellen und vor jeder Platte ein Glasstück. Man vermeidet dann längeres Probieren und sieht nach dem Entwickeln sofort, bis zu welchem der vier Glasstücke die Kugel vorgedrungen war, als der Funke aufleuchtete. Hat man diese Verzögerung — gemessen durch die Strecke, die von der Kugel seit dem Zerreißen des Stanniolstreifens zurückgelegt ist, — einmal festgestellt, so hat man bei den folgenden Aufnahmen wegen der merklichen Konstanz der Verzögerung bei annähernd gleicher Funkenlänge keine Schwierigkeit mehr. Bei unseren Aufnahmen legte die Kugel nach der Unterbrechung des primären Stromes noch rund einen Meter zurück, bis die Entladung an der Funkenstrecke erfolgte. Wenn man will, kann man die Verzögerung natürlich sehr viel kleiner machen. Bei dem heutigen Preise der Platten wird man vielleicht versuchen, mit einem Streifen Bromsilberpapier die Zeitdifferenz zu bestimmen. Für diesen Zweck wird die Helligkeit des Funkens auch beim Bromsilberpapier sicherlich ausreichen.

Etwas schwieriger ist das Arbeiten mit Seifenblasen, die man auf einen Drahtring setzt. Der Drahtring muß vor allen Dingen vollkommen entfettet sein, etwa durch Abreiben mit Benzin, Benzol oder dgl. und darf dann nicht mehr mit den Fingern berührt werden. Andernfalls zerplatzt die Blase beim Berühren des Ringes unfehlbar. Im übrigen halten Blasen, die nicht zu groß gemacht sind, eine ganze Zeitlang auf dem Ringe. Sofortiges Entwickeln der Platte nach der Aufnahme ist angebracht, weil die auf ihre Schicht stäubenden Teilchen von Seifenlauge zahllose kleine punktartige Flecke hervorrufen, wenn sie nicht gleich durch den Entwickler abgespült werden.

Das Talkum in der Praxis der Experimentalchemie.

Von **Otto Ohmann** in Berlin.

Vor kurzem empfahl ich in dieser Zeitschrift (Heft 4 des vor. Jahrg. S. 145) das pulverige Talkum als ein Hilfsmittel bei gewissen Arbeiten mit Plastilin sowie auch als Ölersatz für schlecht funktionierende Apparate (S. 153). Inzwischen fortgeführte Versuche zeigten, daß man die Benutzung des Talkums keineswegs auf diese Fälle zu beschränken braucht, daß es vielmehr Eigenschaften besitzt, die es auch sonst als ein willkommenes und vielseitig verwendbares Material erscheinen lassen. Es hängt dies mit der ganzen chemischen Natur dieses Stoffes zusammen, der auch in kompakten Stücken, als Mineral, jene eigenartige Weichheit — als Glied I der Mohsschen Härteskala — und seifenartige Glätte zeigt, die von keinem anderen Mineral auch nur annähernd erreicht wird. Dazu kommt seine ausgesprochene chemische Indifferenz: der Talk wird weder von Salzsäure noch von Schwefelsäure angegriffen; selbst nach dem Glühen wirken diese Säuren nicht auf ihn ein. Die normale Zusammensetzung dieses Magnesiumsilikates wird durch die Formel $H_2Mg_3Si_4O_{12}$ ausgedrückt, entsprechend $1H_2O$, $3MgO$, $4SiO_2$, doch wird gewöhnlich ein kleiner Teil des Magnesiumoxydes durch Eisenoxydul (1—3%) vertreten, wozu noch bisweilen 1—2% Tonerde treten. Günstig ist ferner, daß es in keiner Weise für die menschliche Haut lästig wird; man kann mit dem staubfeinen Talkumpulver beliebig hantieren und behält doch, ohne waschen zu müssen, saubere Hände durch trockenes Abreiben am Handtuch oder bloßes Abklopfen der Hände gegeneinander. Ist ja doch auch das pulverisierte Material die Grundmasse für alle Schminken der Schauspieler. Es hängt das alles wieder damit zusammen, daß das Talkum geneigt ist, durch Oberflächenwirkung etwas Fett aufzunehmen; selbst Fettflecke auf Papier lassen sich damit leidlich gut entfernen, mindestens so weit mildern, daß es für viele Zwecke genügt. Man talkiere daher die Hände, wenn man eine Zeichnung auf



besonders empfindlichem Papier anzufertigen hat; auch in der Gesellschaft beim Herumgeben wertvoller Bilder auf hellem Karton empfiehlt sich sehr das Aufstellen einer Schale (größere flache Muschel) mit Talkum, denn nichts wirkt unästhetischer als die sich so leicht einstellenden fettigen Fingergriffe auf solchen Bildern.

Für die Laboratoriumspraxis verwendet man das Talkum entweder im gewöhnlichen trockenen Zustande oder in Form einer Flüssigkeitsmischung.

Herstellung und Eigenschaften einer Mischung von Talkum mit einer Flüssigkeit. Als Flüssigkeiten kommen hauptsächlich destilliertes Wasser und absoluter Alkohol in Frage, mit denen sich beliebige Mischungen von der Konsistenz eines dicken Breies bis zu ganz dünnflüssigem Zustande bereiten lassen. Wasser ist weniger empfehlenswert, da Bakterienwirkungen auftreten können und das langsame Verdunsten oft störend ist. Man halte sich indessen ein kurzes Probierrohr mit einer Mischung von etwa 15 g Talkum in 20 g destilliertem Wasser, gut verschlossen, in Bereitschaft, das man vor dem Gebrauch tüchtig schüttelt. Viel besser arbeitet es sich mit einer alkoholischen Mischung, die man allenthalben anwenden kann, höchstens dort nicht, wo Spuren von Alkohol eine chemische Wirkung ausüben könnten. Bringt man 6 g absoluten Alkohol in eine 10 ccm-Mensur, die in Zehntel geteilt ist, fügt 3 g Talkum hinzu und schüttelt kräftig, so erhält man eine genügend dünnflüssige, für viele Zwecke geeignete Mischung. An einer solchen, eine Art Suspension darstellenden Mischung lassen sich die Reibungsverhältnisse zwischen der flüssigen und festen Phase ausgezeichnet zur Beobachtung bringen, da sich das Talkum in ähnlicher Weise langsam absetzt, wie irgend ein Niederschlag nach einer chemischen Fällung. Das Absetzen erfolgt in dem durch Plastilin luftdicht verschlossenen Meßzylinder einige Zeit hindurch mit auffallender Gleichmäßigkeit: denn es bildet sich sogleich nach Aufhören des Schüttelns eine Oberschicht von völlig klarem Alkohol, mit einer ziemlich scharfen Grenze, so daß sich das Fortschreiten des Absetzens sehr gut verfolgen läßt. Zunächst sinkt jene Grenze für jede Minute fast genau um einen Teilstrich, so daß nach 5 Minuten die Alkoholschicht 0,5 ccm, nach 10 Minuten 1 ccm beträgt, bis etwa nach 30 Minuten die Senkung allmählich langsamer erfolgt, wie sich aus beistehender Tabelle ergibt:

Alkoholschicht	Zeit	Alkoholschicht	Zeit	Alkoholschicht	Zeit
0,5 ccm	nach 5 Min.	3,6 ccm	nach 50 Min.	3,7 ccm	nach 180 Min.
1,0 „	„ 10 „	3,62 „	„ 60 „	—	—
1,5 „	„ 15 „	3,65 „	„ 70 „	3,8 „	„ 4,5 Std.
2,0 „	„ 20 „	3,67 „	„ 80 „	3,84 „	„ 16,5 „
3,0 „	„ <30 „	—	—	3,85 „	„ 22,0 „
3,4 „	„ 35 „	3,69 „	„ 120 „	4,1 „	„ 2,5 Tage
3,5 „	„ 40 „				

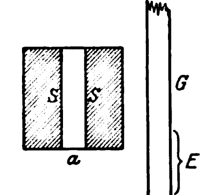
Aber selbst nach so langer Zeit war der Ausgleich, — der natürlich nicht nur in der oberen Schicht stattfindet, wo er im wesentlichen nur angezeigt wird, sondern die ganze Masse ergreift, — noch nicht völlig beendet. Es sank die Oberfläche am 4. Tage bis 4,17, um vom 5. Tage an mit 4,18 stationär zu bleiben. Es ist dieser Beobachtungsversuch mit seinem Hineinleben in die molekularen Vorgänge eine ausgezeichnete Vorbereitung für die Vorstellungen der kinetischen Gastheorie und auch der Kolloidchemie.

Übrigens verlaufen die Versuche nicht ganz übereinstimmend; es hängt dies mit der Beschaffenheit des Materials zusammen. Zuweilen tritt schon nach 2 ccm Alkoholabschichtung ein erheblich langsameres Absetzen ein.

Natürlich wird man sich gelegentlich auch andere Mischungen aus Alkohol und Talkum, bis zu breiartiger Beschaffenheit, herstellen. Man halte einige solche Mischungen in wohlverschlossenen Probierröhren in Bereitschaft. — Wir kommen nun zu den verschiedenen Verwendungsarten des Talkums in der experimentellen Praxis. Es empfiehlt sich, beim Experimentieren einen kleinen Vorrat von Talkum in einer flachen Schachtel

stets zur Hand zu haben. Für umfangreichere Talkierungen (z. B. von ganzen Schlauchstücken) schüttet man eine größere Menge auf einen Bogen Papier.

1. Korkdurchbohrung und Glasrohr (Trichterrohr). Nach dem Herausziehen des Korkbohrers bzw. nach Behandeln mit der Korkfeile schließe man die Durchbohrung bei *a* (s. Fig.) mit dem Finger, fülle *SS* mit Talkum an und erschüttere ein wenig durch Aufklopfen des Ganzen auf den Tisch, wodurch das Talkum vermöge seiner idealen Feinheit in alle beim Bohren oder Feilen entstandenen Risse und Unebenheiten eindringt. Dann lasse man das Talkum herausfallen. Führt man jetzt das Glasrohr *G* ein, so gleitet es nicht nur erheblich besser als wenn man es ohne weiteres oder mit Wasser angefeuchtet einführt, sondern es wird durch das Talkum auch eine bessere Gasabdichtung erzielt.



Zudem hat dieses Talkum noch den Vorteil, daß man später das Glasrohr leichter wieder herausziehen kann; bekanntlich bildet sich bei längeren Verweilen zwischen *G* und *SS* oft ein so starkes Anhaften aus, daß das Entfernen des Glasrohrs ohne Gefahr kaum möglich ist. Bei einem tiefer durchzusteckenden Rohr, z. B. Sicherheits-Trichterrohr, ist es außerdem nützlich, das Rohr seiner ganzen Länge nach zu talkieren.

2. Kautschukpfropfen und Glasrohr. Bei Kautschukpfropfen, die man gewöhnlich gleich durchbohrt bezieht, empfiehlt sich dasselbe Verfahren. Aus Kautschukstopfen pflegt man das Rohr nach jedesmaligem Gebrauch sogleich wieder zu entfernen. Bei wiederholtem Einführen genügt es dann, nur das untere Ende *E* des Glasrohres zu talkieren.

3. Durchbohren eines Kautschukpfropfens. Diese Operation gelingt ebenfalls mit Talkum (an Stelle von Alkalilauge oder Seifenlösung) sofern man wiederholt, unter schwachem Beiseitebiegen des Bohrers, Talkum in die Fugen nachstreut.

4. Kautschukschlauch und Glasrohr. Statt den Schlauch vor dem Überstreifen anzufeuchten, tauche man das Ende in Talkum; er gleitet dann vorzüglich über das Rohr. Wer dies einmal erprobt hat, wird das Talkum für diese vielgeübte Hantierung nicht mehr missen wollen. Es empfiehlt sich übrigens, die ganzen Kautschukschläuche zu talkieren, durch Bestreichen mit eingetauchtem weichen Baumwollappen; die Einwirkung der Atmosphärilien (Hauptursache des Unbrauchbarwerdens) wird dadurch gemindert.

5. Ventile bei der Sauerstoff-Stahlflasche. Bekanntlich dürfen beim Radventil sowie beim Reduzierventil der Sauerstoff-Stahlflasche Fette wegen der Sprenggefahr nicht verwendet werden. Infolge seiner chemischen Indifferenz eignet sich zu diesem Zweck das Talkum recht gut. Man lege, um es einzubringen, die Stahlflasche wagrecht auf den Tisch.

6. Achsenlager in Holz und sonstige Führungen in Holz. Schiebetüren, von denen man allerdings mehr und mehr abkommt, haben oft eine so starke Reibung, daß man sie kaum in Bewegung setzen kann. Die Anwendung von Öl ist bei Holz nicht angebracht. Hier ist Talkum ganz besonders am Platze, zuweilen das eigentliche Rettungsmittel. Auch bei in Holz gelagerten, oft ganz lästig knarrenden Türen lassen sich alle Übelstände glatt mit Talkum beseitigen; hier läßt sich auch die oben erwähnte Mischung gut verwerten.

Auch sonst leistet das Talkum im Laboratorium noch manchen guten Dienst; z. B. wirkt es bei älteren Werkzeugen mit Drehung (Zangen, Feilkloben u. a.), ferner auch da, wo Reste unzweckmäßigen Lackierens das Gleiten stören, oft überraschend gut. Auch bei stark beanspruchten Schraubengängen, die zuweilen vorzeitig abgenutzt (und schließlich überschraubt) werden, mindern geringe Mengen eingestreuten Talkums die Friktion und wirken so erhaltend. Dies gilt z. B. auch für Schrauben-Quetschhähne und alle verrosteten oder leicht verrostenden Stellen. Kurz, wer sich die Eigenschaften dieses unverwüstlichen Gleitstoffes öfters zunutze gemacht hat, findet allenthalben willkommene Gelegenheit, ihn zweckentsprechend zu verwenden.



Die Bestimmung der spezifischen Wärme der Luft bei konstantem Druck.

Von Prof. **Ludwig Nagele** in Klagenfurt.

Nächst der spezifischen Wärme des Wassers ist gewiß die der Luft am wichtigsten. Ihre Bestimmung im Schulunterricht scheitert aber daran, daß bei den gewöhnlichen Methoden sehr große Raummengen Luft notwendig sind, daß das Wärmefassungsvermögen der Kalorimeter, der Thermometer usw. in Betracht gezogen werden muß, daß größere Wärmeverluste unvermeidlich sind, alles Umstände, die einen derartigen Versuch als zeitraubend, umständlich und unübersichtlich ausschließen.

Eine ähnliche schwierige Aufgabe, die Bestimmung der Verdampfungswärme des Wassers, wurde von F. C. Müller unter Zuhilfenahme von Zeitbeobachtungen in einfacher und eleganter Weise gelöst. Dies brachte mich auf den Gedanken, die spezifische Wärme der Luft ebenfalls mit Hilfe von Zeitmessungen festzustellen, oder vielmehr einen möglichst guten Näherungswert für diese wichtige Größe auf dem Wege des Schulversuches zu erhalten. Es wird vorausgesetzt, daß die spezifische Wärme des Messings schon bekannt ist, sie kann ja mit dem Weinholdschen Apparat recht genau ermittelt werden und beträgt bei der Temperatur von 15° C etwa 0,09. Soll die Aufgabe im Unterrichte durchführbar sein und nicht zu viel Zeit erfordern, so kann die verwendete Luftmenge keine große sein, daraus folgt aber wieder, daß Temperaturbestimmungen mit gewöhnlichen Thermometern nicht möglich sind, da ihr Wärmefassungsvermögen zu groß ist, um außer acht gelassen, und zu schwer bestimmbar, um in den Versuch eingerechnet werden zu können. Geringe Luftmengen wieder verlangen einen Apparat von kleiner Wärmekapazität, der dabei doch die Gewähr bieten soll, daß die Luft eine bestimmte Temperatur annimmt. Der ursprüngliche Gedanke bestand darin, erwärmte Luft zwischen den Mänteln zweier Messingzylinder hindurchzuleiten (Fig. 1), den kleineren Zylinder als Thermoskop zu verwenden und die Zunahme der Wärmemenge eines derartigen Apparates zu messen. Drei Umstände erschweren die Durchführung dieses Versuches: 1. Die durchlaufende Luft muß vorher auf eine bestimmte Temperatur gebracht und ihr Rauminhalt gemessen werden, wodurch die ganze Vorrichtung umständlich und unübersichtlich wird. 2. Es treten beim Durchgang die unvermeidlichen Wärmeverluste auf, die bei geringen Luftmengen die Durchführung des Versuches überhaupt unmöglich machen. 3. Die Temperatur, die das Thermoskop annimmt, ist nicht dieselbe wie die der äußeren Hülse.

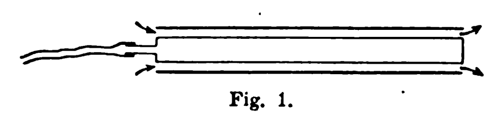


Fig. 1.

Der erste Übelstand kann behoben werden, wenn der oben abgebildete Apparat selbst auf eine gewisse Temperatur gebracht, Luft von der Zimmertemperatur durchgeleitet und seine Wärmeabgabe festgestellt wird. Damit ist aber der zweite Fehler noch nicht beseitigt und hier muß die Zeitmessung helfend in den Versuch eingreifen. Der auf eine Temperatur t_1 (z. B. 30°) gebrachte Apparat wird zuerst ganz sich selbst überlassen und die Zeit bestimmt, in welcher er sich auf eine Temperatur t_2 (20°) abkühlt. Diese Zeit sei z_1 (100 Sek.). Hierauf wird er wieder auf t_1 (30°) erwärmt, Luft durchgeleitet und die Zeit gemessen, die jetzt bis zur Abkühlung auf t_2 (20°) verstreicht: z_2 (80 Sek.). Sind die äußeren Umstände, vor allem die Zimmertemperatur, die gleichen geblieben, so muß im zweiten Falle die an die Umgebung abgegebene Wärme $= \frac{z_2}{z_1} = \frac{80}{100}$ von der ganzen abgegebenen Wärmemenge $C \cdot (t_1 - t_2)$ betragen, wo C die Wärmekapazität der ganzen Vorrichtung bedeutet, und $\frac{z_1 - z_2}{z_1}$ $\left(= \frac{20}{100}\right)$ von $C \cdot (t_1 - t_2)$ ist die von der Luft aufgenommene Wärmemenge. Zwei

Umstände können dabei den Versuch wieder unangenehm verlängern: Das Eichen des Thermoskopes und sein Erwärmen auf eine bestimmte Temperatur t_1. Beide Hindernisse können leicht überwunden werden. Als Temperaturzeiger wird die bekannte Vorrichtung von Grimsehl verwendet, die er bei der Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes benützte (Fig. 2). Sie wird durch einen guten Gummischlauch von geringer innerer Weite mit dem Thermoskop verbunden, der Zeiger auf Null eingestellt und die einzelnen Skalenteile gleich als willkürlich gewählte Grade gezählt. Es ist dies ohne weiteres zulässig, weil in der Gleichung

Abgegebene Wärme = Aufgenommene Wärme

die Temperatur beiderseits vorkommt, die Wahl ihrer Einheit also gleichgültig ist. Es soll nun gleich an dieser Stelle bemerkt werden, daß als Zeigerflüssigkeit Alkohol nicht in Betracht kommt, weil die im Thermoskop enthaltenen Alkoholdämpfe bei nur wenig höheren Temperaturen eine beträchtliche Steigerung ihrer Spannkraft zeigen, und die Temperatursteigerung mit der Einteilung nicht im Einklang bleibt, ein Übelstand, der sich auch bei der Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes bei verschiedenen Zimmertemperaturen bemerkbar macht und jedesmal eine besondere zeitraubende Eichung erheischt. Es hat sich gezeigt, daß gefärbte konzentrierte Schwefelsäure weit bessere Dienste leistet, wenn man nicht versäumt, einige Minuten vor Beginn des Versuches den Apparat bei geöffnetem Hahn auf- und abzuschwenken. Die Säure hält das Innere des Thermoskopes trocken und bedingt dadurch ein nahezu gleichförmiges Ansteigen des Zeigers. Will man dann von einer bestimmten Temperatur t_1, etwa 120, der willkürlich gewählten Einheit zählen, so erwärmt man das Thermoskop etwas darüber und beginnt die Zeitmessung, wenn der Zeiger infolge des Abkühlens 120 passiert.

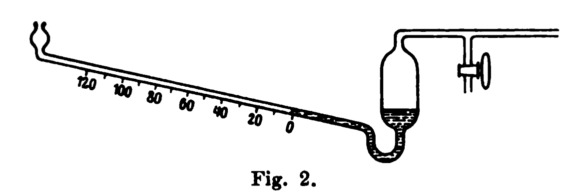


Fig. 2.

Nun ist noch die dritte der oben erwähnten Schwierigkeiten zu beheben, die darin besteht, daß die zwischen Thermoskop und äußerer Hülse durchströmende Luft

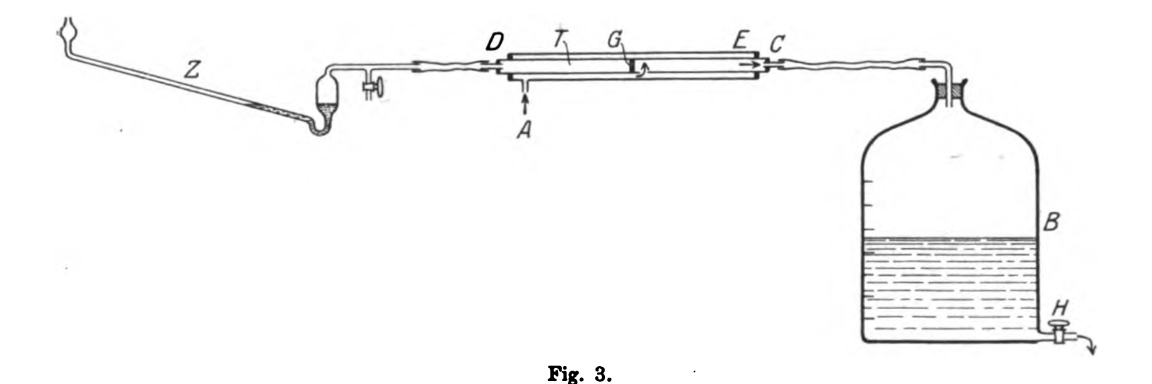


Fig. 3.

nicht genau die abgelesene Temperatur annimmt, da der äußere Teil des Apparates immer einen etwas niedrigeren Wärmegrad hat. Daher wurde der ganzen Vorrichtung folgende Form gegeben (Fig. 3):

Ein dünnwandiges Messingrohr von 19 cm Länge und 1,1 cm Durchmesser im Gewichte von 12 g ist durch einen sehr gut schließenden Gummieinsatz G in zwei Teile gesondert. Der erste bildet das Thermoskop T, durch den zweiten strömt die Luft in das mit einer auf Zehntelliter durchgeführten Teilung versehene Gefäß B ab. Bei C und D sind kurze dünnwandige Glasröhrchen luftdicht eingesetzt und durch

Schläuche (bei D, wie schon erwähnt, guter enger Gummischlauch) mit B bzw. Z verbunden. Die äußere Hülse bildet ebenfalls ein Messingrohr von 18 cm Länge, 1,5 cm lichter Weite, der Wanddicke 0,5 mm und dem Gewichte 36 g. Es hält bei C und D in gut schließenden Gummiringen das innere Rohr. Die äußere Fläche des engen und die Innenfläche des weiten Rohres sind mit Ruß geschwärzt, um einen möglichst raschen gegenseitigen Wärmeaustausch zu erzielen. Die ganze Vorrichtung besitzt ein Gewicht von 49 g, also ein Wärmefassungsvermögen $C = 49 \times 0{,}09 = 4{,}4$ Kal. Die Luft tritt bei A in den Zwischenraum der beiden Zylinder, durch die unmittelbar hinter G befindliche Öffnung (Durchmesser etwa 7 mm) in die innere Röhre und fließt bei C in das Gefäß B ab.

Ein besonderes Beispiel mag jetzt den ganzen Vorgang veranschaulichen. Der Apparat wurde einige Zeit vor seiner Benützung in das Lehrzimmer gebracht, bei seitwärts gerichteter Öffnung A an dem Ende E in einer schmalen Klemme festgeschraubt und darauf Bedacht genommen, daß ihn während des Versuches kein Sonnenlicht treffe. Man erwärmt ihn nun mit einer kleinen Bunsenflamme durch Bestreichen möglichst gleichmäßig, bis der Zeiger etwas über 120 hinausgeht und beobachtet den Zeitunterschied, der zwischen seinem Durchgang durch 120 (t_1) und 60 (t_2) liegt: $z' = 196$ Sekunden. Durch abermaliges Erwärmen wird er wieder auf die ursprüngliche Temperatur gebracht (man trachte womöglich denselben Stand über 120 zu erreichen), und beim Durchgang durch 120 (t_1) der Hahn H geöffnet, bei 60 (t_2) geschlossen. Der jetzt gefundene Zeitunterschied ist $z_2 = 166$ Sekunden. Um Fehler durch Änderung des Wärmezustandes der nächsten Umgebung möglichst zu vermeiden, wird der Apparat wieder über 120 erwärmt und nochmals wie am Anfang die Zeit zwischen dem Durchgange durch 120 und 60 bestimmt: $z'' = 198$ Sek., so daß sich als ein Mittelwert für die Zeit, in welcher die Temperatur durch bloße Abkühlung von t_1 auf t_2 sank $z_1 = 197$ Sekunden ergibt. Jetzt werden die Verbindungen mit dem Thermoskop bei D und dem Gefäß B bei C gelöst und das Gewicht bestimmt: $q = 49$ g, also $C = 4{,}4$ Kal. Der Apparat hat sich abgekühlt um $t_1 - t_2 = 60$ Grade, die durchströmende Luft wurde im Mittel erwärmt von 0 auf $\frac{t_1 + t_2}{2} = 90$ Grade. Ihr spezifisches Gewicht bei dem Barometerstand von 72 cm und der Zimmertemperatur $t = 16^0$ berechnet sich aus $\frac{p}{s} = \frac{p_0}{s_0}(1 + \alpha t)$ zu 0,00117 g und aus dem bei B abgelesenen Volumen $v = 1{,}6$ l ihr absolutes Gewicht zu 1,87 g. Dann besteht die Gleichung

$$4{,}4 \cdot 60 \cdot \frac{197 - 166}{197} = 1{,}87 \cdot 90 \cdot \varkappa,$$

allgemein $C \cdot (t_1 - t_2) \cdot \frac{z_1 - z_2}{z_1} = q \cdot \frac{t_1 + t_2}{2} \cdot \varkappa$ und ergibt $\varkappa = 0{,}25$ kal.

Will man gute Resultate erhalten, so dürfen gewisse Vorsichtsmaßregeln nicht außer acht gelassen werden. Die Vermeidung der Bestrahlung durch die Sonne wurde schon erwähnt. Zu vermeiden sind ferner Beobachtungen mit gar zu kleinen Temperaturdifferenzen wegen der kleinen Zeitunterschiede, aber auch Differenzen wie etwa zwischen 120 und 20 sollen nicht in Betracht gezogen werden, weil die Durchführung des Versuches zu lange dauern und wegen der immer schwächer werdenden Wärmeabgabe leicht größere Fehler sich einschleichen könnten. Das Thermoskop muß in allen seinen Teilen, auch sein Anschluß an den Temperaturzeiger, vollkommen dicht schließen, bei den Anschlüssen ist die Verwendung von Picein sehr zu empfehlen. Die Geschwindigkeit der durchströmenden Luft darf keine zu große sein, sie kann durch Änderung der Hahnstellung am Gefäße B reguliert werden, und wenn in 200 Sekunden etwa 2 l Luft abgesaugt werden, so ist das vollkommen genug. Bei Berücksichtigung dieser Umstände erhielt ich Werte zwischen 0,22 und 0,26 gegenüber dem richtigen Wert von 0,237 Kal.



Kleine Mitteilungen.

Versuche über Luftströme mit Hilfe der Schwungmaschine.

Von J. Friedrich in Trier.

Wird ein Gegenstand durch die Schwungmaschine in Bewegung versetzt, so gerät seine Oberfläche unter den Einfluß des entstehenden Gegenwindes. An diesem lassen sich charakteristische Wirkungen rascher Luftströme in einfacher Weise sichtbar machen.

1. Saugwirkung. Man befestige einen Schenkel einer rechtwinklig gebogenen, an beiden Enden offenen Glasröhre so in der durchbohrten Achse der horizontal aufgestellten Schwungmaschine, daß das Ende des Schenkels noch unten herausragt. Dieses Ende lasse man in ein flaches Gefäß mit gefärbtem Wasser eintauchen (s. Fig. 1). Setzt man nun die Maschine in Tätigkeit, so rotiert der horizontale Schenkel um den vertikalen, und man sieht, wie in letzterem die gefärbte Flüssigkeit aufsteigt. Die Höhe wächst mit der Winkelgeschwindigkeit und der Länge des horizontalen Schenkels.

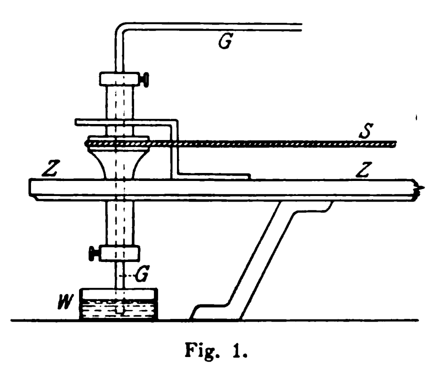


Fig. 1.

Zunächst liegt die Annahme nahe, daß die auftretende Fliehkraft den Luftdruck im Innern der Röhre vermindert und dadurch das Ansteigen der Flüssigkeit veranlaßt. Zur näheren Untersuchung wiederhole man den Versuch mit einer andern Röhre, bei der das horizontale Ende, wie Fig. 2 zeigt, etwas nach oben zurückgebogen ist, während die Größenverhältnisse sonst nicht geändert sind. Bei dem jetzigen Versuch zeigt die Steighöhe der Flüssigkeit kaum einen Unterschied gegen vorher. Dagegen muß jetzt die Wirkung der Fliehkraft auf die Luft einen ganz erheblichen Unterschied zeigen. Während beim 1. Versuch die Möglichkeit vorlag, daß sie die Luft aus der Röhre heraustrieb, ist dies beim 2. Versuch ausgeschlossen, sie kann jetzt höchstens die Luft aus den zentralen Teilen der Röhre nach dem Knie K hintreiben und dort verdichten. Wenn nun diese Verdichtung und die entsprechende Verdünnung im Zentrum die Ursache der Erscheinung sein soll, dann darf sich kein Unterschied zeigen, wenn jetzt die Röhre bei A zugeschmolzen wird. Tatsächlich bleibt aber das Ansteigen der Flüssigkeit aus, wenn der Versuch mit der so veränderten Röhre vorgenommen wird. Daraus folgt, daß bei diesen Versuchen die Fliehkraft überhaupt keine entscheidende Rolle spielt, vielmehr ist die Erscheinung auf die Saugwirkung der relativ zum Röhrenende bewegten äußeren Luft zurückzuführen. Beim 1. Versuch wirkten Flieh- und Saugkraft im selben Sinne, beim 2. wirkten sie einander entgegen, beim 3. Versuch wirkte lediglich die Fliehkraft.

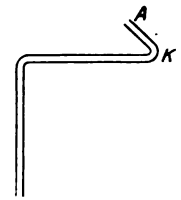


Fig. 2.

2. Drachenwirkung. Man gebraucht zum Nachweis dieser Wirkung eine horizontal auf die Achse der Schwungmaschine zu befestigende Latte, die an beiden Enden vertikale Ansatzstücke trägt. Unter dem Zubehör zur Schwungmaschine sind derartige Vorrichtungen vorhanden. An die Ansatzstücke befestigt man je 2 starke Stricknadeln in vertikaler Stellung und in etwa 2 cm Abstand. Die Nadeln sollen nachher bei der Drehung ihre Stellung nicht ändern. Weiter schneide man sich aus Papier oder dünnem Karton kleine Rechtecke, von denen man jedes längs einer Mittellinie mit 2 Löchern versieht, die etwas weiter als die Entfernung der Nadeln auseinanderliegen. Infolgedessen werden die Rechtecke, wenn man sie mit den Löchern über die Nadeln schiebt, schräg zu letzteren sich stellen. Die Öffnungen müssen so

groß sein, daß die Rechtecke reibungslos über die Nadeln sich bewegen und im Ruhezustand von selbst die tiefste Lage einnehmen. Wird jetzt die Maschine in Tätigkeit gesetzt, so daß der Gegenwind das bewegte Rechteck auf der Unterseite trifft, so steigt es an den Nadeln empor. Diese verbindet man zweckmäßig an den oberen Enden durch ein Stück Kork. Dreht man entgegengesetzt, so bleibt das Papier in seiner tiefsten Lage. War es vielleicht infolge der vorhergehenden Drehung oben festgeklemmt, so wird es bei Umkehr der Drehung sofort heruntersinken. Indem man die Größe, Schwere, schräge Stellung oder auch durch Verbiegung das Profil der Rechtecke verändert, läßt sich der Einfluß dieser Momente beurteilen.

Für die Praxis.

Zum Gebrauch des Grimsehlschen Versuchsgeschützes für das Wirken einer Kraft auf ungleiche Massen. Von **H. Rebenstorff** in Dresden. Viele Anerkennung fanden die Versuche Grimsehls mit dem in Höhe von 54,5 cm über der Tischfläche wagerecht abzufeuernden kleinen Versuchsgeschütz, wobei die beiden Massen (Geschütz und Geschoß) in $^1/_3$ Sekunde bis zur Tischfläche hinabgehen und die Geschwindigkeiten der Massen aus den wagerechten Wurfweiten sofort zu berechnen sind (*diese Zeitschr. 16, 135*). Diese sind den bewegten Massen nahezu umgekehrt proportional. Die Freude, mit der die Schüler diese Versuche aufnehmen, ist ein weiterer Vorzug derselben. Beim Gebrauche des so vorzüglich durchdachten Apparates stellt sich leider der Nachteil heraus, daß wegen der Enge des Zündkanals leicht wiederholte Versager beim Abfeuern eintreten, wobei das Pulver der Zündpfanne verpufft, die Entzündung sich aber nicht auf die Geschützladung überträgt. Bemerkt sei, daß ein jedesmaliges Ausspülen des Geschützes nach dem Schuß und gutes Austrocknen — auch durch schwaches Erhitzen über der Bunsenflamme keineswegs verabsäumt worden war. Ein fast ausnahmslos wirkendes Mittel gegen das Versagen wurde darin gefunden, daß nach neuem Pulverschütten auf die Pfanne mit der Spitze einer Stecknadel Pulverkörner zerbröckelt und ins Zündloch gedrängt wurden. Das so erhaltene Mehlpulver ist bekanntlich entzündlicher als die polierten Körnchen und häuft sich, nachdem die Nadelspitze etwa ein dutzendmal in das Zündloch eingeführt war, in diesem, sowie im Innern des Geschützchens gleich darunter an. Den zündenden Glühdraht muß man etwas lose in der Hand halten, damit das Geschütz nicht von ihm ein wenig in der Bewegung zurückgehalten wird.

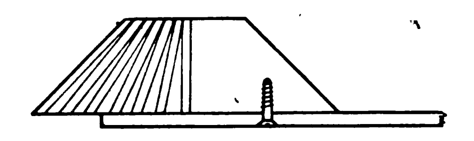
Zur Behandlung der Ester und Fette im Unterricht. Von Dr. **W. Franck** in Hamburg. Zum Nachweis der Verseifbarkeit der organischen Ester durch Wasser und Säuren mit den einfachen Mitteln des chemischen Schulunterrichts sind die gewöhnlich gebrauchten Verbindungen — Äthylacetat und die Fette — nicht gut geeignet. Der Essigsäureäthylester kann seiner Flüchtigkeit wegen nur unter dem Rückflußkühler mit dem Verseifungsmittel erhitzt werden, und bei den Fetten ist die Verseifung schlecht nachzuweisen, da die dabei entstehenden Fettsäuren in Wasser ebenfalls unlöslich sind, so daß also mit dem Auge keine Veränderungen wahrnehmbar sind. Bequemer und deutlicher gestalten sich die Versuche beim Gebrauch von Triacetin, das als Glycerintriacetat ja den Fetten sehr nahe steht. Es wird beim Erhitzen mit Wasser im Reagenzglas ziemlich schnell gespalten; dabei verschwindet vor den Augen der Schüler der in Wasser unlösliche Ester, während sich mit den Wasserdämpfen Essigsäure verflüchtigt, die durch den Geruch und durch Lackmuspapier nachweisbar ist. Schneller noch verläuft die Verseifung bei Verwendung von verdünnter Schwefelsäure.



Es läßt sich bei diesen Versuchen auch die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Konzentration der H-Ionen zeigen, wenn man die gleichen Mengen Ester (ungefähr $^1/_5$ ccm), die man am besten durch Aufsaugen in eine enge Glasröhre abmißt, auf dem Wasserbad mit je 10 ccm n-Schwefelsäure, $^1/_{10}$ n-Schwefelsäure und $^1/_{10}$ n-Oxalsäure erhitzt. Die Reaktion verläuft im ersten Fall am schnellsten, im letzten am langsamsten.

Auf entsprechende Weise läßt sich auch nachweisen, daß die Ester durch OH-Ionen schneller als durch gleich stark konzentrierte H-Ionen gespalten werden, wenn man gleichzeitig zwei Verseifungen mit $^1/_{10}$ n-Schwefelsäure und $^1/_{10}$ n-Kalilauge ausführt.

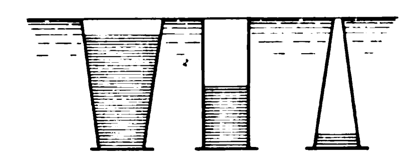
Einfacher Apparat für Brechung und totale Reflexion. Von **F. Queißer** in Tetschen a. E. Zur Darstellung der Brechung vom Lot in allmählichem Übergange zur totalen Reflexion sind zwar schon eine Reihe von Vorrichtungen angegeben worden (siehe z. B. Fricks „Physikalische Technik", II. Bd., S. 1118 u. d. f.), doch sind dieselben meist recht kostspielig und zu wenig vielseitig, als daß ihr Anschaffungspreis im richtigen Verhältnis zur Anwendungsmöglichkeit stände. Ich stellte mir daher für obigen Zweck um geringes Geld einen recht handlichen und leistungsfähigen Apparat her, der im folgenden beschrieben sei. Ähnlich wie bei dem Apparate von Grimsehl (siehe sein Lehrbuch 3. Aufl., Fig. 633) findet ein Kegel vom Achsenschnitte eines rechtwinklig gleichschenkligen Dreieckes mit abgestutzter Spitze Verwendung, den man sich entweder selbst herstellen oder bei einem Drechsler aus Holz um weniges Geld anfertigen lassen kann. Die Abmessungen gibt die nebenstehende Abbildung wieder. Ferner schneidet man sich aus dünnem Spiegelglase schmale Streifchen von 2—3 mm Breite und kittet dieselben mit Siegellack oder Pizein in der Richtung der Seitenlinien auf dem Kegelstumpfmantel fest. An der größeren Grundfläche des Kegelstumpfes befestigt man noch eine Handhabe, um die Vorrichtung untergetaucht entweder festzuklemmen, oder auch bloß mit der Hand in gewünschter Stellung halten zu können. Paralleles Licht, das man in eine größere Wanne mit fluoreszierendem Wasser fallen läßt, kann nun in der verschiedensten Weise durch diese Vorrichtung zur Reflexion an den Spiegelstreifchen und hernach zu Brechung und Totalreflexion veranlaßt werden. Interessant ist es z. B., die Totalreflexion an der Wasseroberfläche durch Aufschichten des jetzt freilich recht seltenen Petroleums aufzuheben. — Übrigens lassen sich auch andere Holzformen: Platten, Zylinder, Kegel usw. in ähnlicher Weise mit Spiegelstreifchen besetzen, und man kann damit den Strahlengang in Wasser und Luft recht gut verfolgen.



Eine Denkfrage zum hydrostatischen Paradoxon. Von **F. Queißer** in Tetschen a. E. Wohl in jeder Sammlung befinden sich die drei bekannten Gefäße, mit denen man das hydrostatische Paradoxon zu zeigen pflegt: die beiden kegelförmigen und das Zylindergefäß von gleicher Grundfläche. Mit ihnen läßt sich folgender, sehr zum Denken anregender Versuch ausführen, den man vielleicht an die Lehre vom Schwimmen anschließen kann. Man fertigt sich noch drei Paraffinpapiere, mit denen die Bodenfläche der Gefäße bedeckt werden kann (wie überhaupt solches Papier sich bei ähnlichen Versuchen sehr gut zum Verschlusse eignet, da es sehr leicht ist und auch vom Wasser nicht benetzt wird). Man tauche nun die mit einem solchen Paraffinpapierboden versehenen Gefäße in eine größere, mit Wasser gefüllte Wanne und bringe sie durch Eingießen von etwas gefärbtem Wasser zum stabilen Schwimmen.



(Unterstützt wird dasselbe meist schon durch die Metallfassung, mit welcher die Gefäße zum Aufschrauben auf eine entsprechende Vorrichtung versehen sind.) Die vorausgestellte Denkfrage lautet nun dahin, anzugeben, bis zu welcher Höhe man wohl in die einzelnen Gefäße werde Wasser einfüllen müssen, um sie bis zum vollständigen Eintauchen, bzw. schließlichen Untersinken zu veranlassen? Auch hier wird man häufig die eben dem Paradoxon entsprechende Antwort hören, daß wohl das schwerste Gefäß am wenigsten, das leichteste am meisten Wasser beanspruchen werde, um hinabgezogen zu werden. Genauere Überlegung zeigt dann bald, daß die richtigen Verhältnisse durch nebenstehende Zeichnung wiedergegeben sind, in welcher die zu erreichende Endlage der drei schwimmenden Gefäße, und im gestrichelten Teile die aufzufüllende Wassermenge schematisch wiedergegeben sind. Der Versuch zeigt m. E. sehr anschaulich, wie im Falle des größeren Kegelgefäßes die nach aufwärts wirkende Resultierende der Seitendrucke durch ein größeres Wassergewicht überwunden werden muß, während bei dem kleineren Kegelgefäß die nach abwärts gerichtete Seitendruckresultierende im entgegengesetzten Sinne wirkt. Die Verhältnisse sind dann gleichsam nur umzukehren, um zur gewöhnlichen Darstellung und Erklärung des hydrostatischen Paradoxons zu gelangen.



Zur Messung der Quecksilberhöhe beim Torricellischen Versuch. Von **H. Rebenstorff** in Dresden. Beim Torricellischen Versuch ist es erfreulich, wenn die Abmessung der Quecksilbersäule einigermaßen mit der Angabe des guten Barometers übereinstimmt, sich vielleicht nur um den Betrag der im nicht zu weiten Rohre zu erwartenden Kapillardepression unterlegen zeigt. Von der Reinheit des Quecksilbers als Hauptbedingung für die Schönheit des Versuches soll nicht weiter die Rede sein; auch die am Glase haftenden Luftblasen sind bei reinem Metall ziemlich vereinzelt. Aber die Messung des Niveauunterschiedes fällt oft mangelhaft aus, besonders weil das Einstellen der Quecksilberfläche im unteren Gefäß erschwert ist. Mit Recht benutzt man hierbei wohl fast überall den Vertikalmeßstab Weinholds (Demonstrationen, 3. Aufl. 39), dessen stählerne Schieberspitze bis zur Tischfläche als Skalenanfang herabgeschoben werden kann. Während sich nun die Einstellung an der Kuppe im langen Rohre leicht recht genau ausführen läßt, ist sie neben dem weiten Gefäß unten erschwert, besonders, wenn der kleine Napf, in dessen Metall man die gefüllte Röhre senkt, zum Reinhalten des Überschusses noch in einem weiteren Glasschälchen steht. Die Schieberspitze läßt sich dann nur nach rohem Augenmaß an ihrem wagerecht entfernten Orte in Niveauhöhe einstellen. Verf. benutzt seit langem einen genau 2 cm langen Stricknadelabschnitt, der mit etwas Plastilin oder zwei Streifchen Klebband so von der Schieberspitze senkrecht herabhängend befestigt ist, daß sein oberes Ende die untere ebene Fläche hinter der Schieberspitze gerade berührt. (Auch durch Magnetisieren beider Teile könnte man dem Stahlstück Halt geben; die magnetische Kraft schwächte sich beim Aufbewahren aber sehr ab.) Bei dieser Maßnahme ist es leicht, das untere Ende des Stahlstückes auf das Niveau im Gefäß einzustellen. Oben stellt man natürlich die Schieberspitze ein.



Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Chemische Schulversuche mit Wasserstoffsuperoxyd und Graphit. In den Wiener „Vierteljahrs-Berichten“ [1]) veröffentlicht Fr. Brandstätter eine neue Reihe wertvoller Unterrichtsversuche, aus der wir die folgenden herausheben.

1. Die erste Versuchsreihe „über die Verwendung des Wasserstoffsuperoxydes als Oxydationsmittel“ ist in besonderem Maße für Schülerübungen geeignet, da das Peroxyd gegenüber den gebräuchlichen Oxydationsmitteln wie Salpetersäure, Chromsäure, Manganate, Chlorate u. a. manche Vorzüge zeigt. Die Vorgänge verlaufen schon bei Anwendung seiner verdünnten (3%) Lösung rasch und ohne störende Nebenwirkungen und sind auch stets leicht zu deuten.

a) Zu dem üblichen Versuch der Umwandlung eines Ferrosalzes in ein Ferrisalz verwendet der Verf. eine sehr verdünnte frisch bereitete und mit Schwefelsäure angesäuerte Lösung von Eisenvitriol, von der eine Probe mit Rhodankaliumlösung keine Rotfärbung gibt. Beim Zusatz von einigen Tropfen der 3%igen Peroxydlösung zeigt sich sofort die für Ferrisalze kennzeichnende Rotfärbung. Konzentriertere gesäuerte Vitriollösungen zeigen beim Zusatz bzw. beim Erwärmen mit dem Peroxyd schon durch ihr Gelb- bis Braunwerden die Umwandlung in das Ferrisalz an, mit dem sich dann die weiteren Reaktionen ausführen lassen. Schema der Umwandlung: $2\,FeSO_4 + H_2SO_4 + H_2O_2 = Fe_2(SO_4)_3 + 2\,H_2O$. — Ebenso vollzieht sich an einer frisch bereiteten, mit Salzsäure angesäuerten Lösung von Stannochlorid beim Erwärmen mit H_2O_2 die Umwandlung in Stannichlorid; mit Schwefelwasserstoff erhält man nicht mehr den dunkelbraunen, sondern den die Stannisalze kennzeichnenden eigelben Niederschlag. Schema: $SnCl_2 + 2\,HCl + H_2O_2 = SnCl_4 + 2\,H_2O$. — Eine verdünnte, mit Salpetersäure versetzte Lösung von Merkuronitrat wird in zwei Hälften geteilt; zur einen tropft man Kaliumjodidlösung, worauf der für Merkurosalze kennzeichnende gelbgrüne Niederschlag von Merkurojodid entsteht. Die andere wird mit H_2O_2 erwärmt, worauf der für Merkurosalze kennzeichnende hochrote Niederschlag von Merkurijodid (Jodzinnober) entsteht: $2\,HgNO_3 + 2\,HNO_3 + H_2O_2 = 2\,Hg(NO_3)_2 + 2\,H_2O$.

b) Ebenso werden Sulfite in Sulfate, Nitrite in Nitrate, Arsenite in Arsenate übergeführt. Mit HCl-versetzte Natriumsulfitlösung gibt mit Bariumnitrat keinen Niederschlag, beim Zusatz von H_2O_2 entsteht sofort ein Niederschlag von Bariumsulfat. Schema der Oxydation:

$$H_2SO_3 + H_2O_2 = H_2SO_4 + H_2O.$$

Gelöstes Kaliumnitrit gibt beim Zutropfen von H_2SO_4 sofort rotbraunes, aus NO und NO_2 bestehendes Gas, jedoch nicht, wenn man es mit H_2O_2 erwärmt.

$$KNO_2 + H_2O_2 = KNO_3 + H_2O.$$

Ebenso gibt Natriumarsenit, mit H_2O_2 versetzt, mit Silbernitrat den schokoladebraunen Niederschlag von Silberarsenat. — Eine sehr verdünnte, mit einigen Tropfen H_2SO_4 versetzte Lösung von Kaliumchromat zeigt schon mit einem Tropfen der H_2O_2-Lösung die prächtige Blaufärbung der Überchromsäure, die für H_2O_2 kennzeichnende empfindliche Reaktion. Ein Zusatz von Äthyläther, der die leicht zersetzliche Säure aus der Lösung aufnimmt, macht diese etwas beständiger.

$$2\,H_2CrO_4 + 3\,H_2O_2 = 2\,HCrO_5 + 4\,H_2O.$$

c) Der durch Füllen von Manganosalzen mit Natronlauge entstehende weiße Niederschlag, der bekanntlich schon beim Schütteln im Probierglase durch den Luftsauerstoff oxydiert wird, gibt beim Zusatz von H_2O_2 sofort das braune Manganihydroxyd. $2\,Mn\,(OH)_2 + H_2O_2 = 2\,Mn\,(OH)_3$. — Eine mit Natronlauge versetzte Bleisalzlösung gibt den weißen Niederschlag von $Pb\,(OH)_2$, der bei weiterem Zusatz sich wieder löst. Beim Zusatz von H_2O_2 wird nunmehr das sauerstoffreichste Oxyd, das braune Bleisuperoxyd, gefällt:

$$Pb(OH)_2 + H_2O_2 = PbO_2 + 2\,H_2O.$$

Aus den Lösungen von Ca-, Ba- und Sr-Hydroxyd wurden durch H_2O_2 die entsprechenden Superoxyde als weiße Niederschläge erhalten.

$$Ca(OH)_2 + H_2O_2 = Ca\,O_2 + 2\,H_2O.$$

d) Ebenso gelingt die Oxydation von Sulfiden in Sulfate; so wird das aus Bleisalzlösungen mit H_2S gefällte schwarze Bleisulfid durch Erwärmen mit H_2O_2 in weißes Bleisulfat umgewandelt, worauf bekanntlich das Aufhellen alter, durch die Einwirkung schwefelwasserstoffhaltiger Atmosphärilien auf die Bleifarben dunkel gewordener Ölgemälde beruht.

$$PbS + 4\,H_2O_2 = PbSO_4 + 4\,H_2O.$$

e) Um die Abscheidung der Halogene aus ihren Wasserstoff- bzw. Metallverbindungen zu zeigen, wird Chlor aus Salzsäure, die mit H_2SO_4 versetzt ist, entwickelt; ferner wird aus einer mit H_2SO_4 angesäuerten Lösung von Natriumbromid durch H_2O_2 Brom abgeschieden, beim Erwärmen entwickeln sich reichlich Bromdämpfe;

---

[1]) Jahrg. XXII S. 68/75, Wien, F. Deuticke, 1917.

ebenso wird eine Jodkaliumlösung durch H_2O_2 sofort braun und gibt, mit einigen Tropfen H_2SO_4 erwärmt, violetten Joddampf.

$$2\,KJ + H_2SO_4 + H_2O_2 = K_2SO_4 + 2\,H_2O + J_2.$$

Hier wirkt also H_2O_2 wie sonst Mangansuperoxyd.

f) Um schließlich die Bildung von Chromaten auf nassem Wege zu zeigen, wird die Lösung eines Chromisalzes, z. B. $Cr_2\,(SO_4)_3$ mit einem Alkalihydroxyd versetzt und der graugrüne Niederschlag von Chromihydroxyd im Überschuß des Fällungsmittels gelöst. Wird die entstandene smaragdgrüne Lösung von $Cr(OK)_3$ mit H_2O_2 erwärmt, so färbt sie sich alsbald durch Bildung von Kaliumchromat zitronengelb:

$$2\,Cr(OK)_3 + 3\,H_2O_2 = 2\,K_2CrO_4 + 2\,KOH + 2\,H_2O,$$

mit welcher Lösung sich dann alle Chromatreaktionen ausführen lassen.

2. Um Graphit zu verbrennen, wird ein höchstens linsengroßes Stückchen reinen Graphites (womöglich Ceylongraphit) auf dem Siebrost eines Mekerbrenners gelegt und zu lebhaftem Glühen erhitzt. Mit der Pinzette bringt man es in ein senkrecht eingespanntes Probierglas, in welchem zwei bis drei Gramm Kaliumchlorat zum Schmelzen und bis zur beginnenden Sauerstoffabscheidung erhitzt wurden. Der Graphit verbrennt mit lebhafter Feuererscheinung, das entstehende Kohlensäuregas wird mittelst eines bereitgehaltenen Stopfens nebst U-Rohr in Kalkwasser geleitet. Auch mit Kaliumnitrat gelingt der Versuch, doch muß dieses andauernd erhitzt werden; auch ist die Feuererscheinung viel weniger lebhaft. *O.*

2. Forschungen und Ergebnisse.

Der innere Aufbau der Sterne. In den „Naturwissenschaften" 1919, Heft 5/6 berichtet A. Kohlschütter (Potsdam) über eine neue, von A. S. Eddington[1]) aufgestellte Theorie betreffend die Konstitution der Himmelskörper. Wir geben daraus den folgenden Auszug.

Unter Voraussetzung einer kugelförmigen Gasmasse, deren Zustandsgrößen bloß Funktionen des Radius sind, erfordert jede Theorie zur Bestimmung der drei Zustandsgrößen, nämlich Druck, Temperatur und Dichte, drei unabhängige Gesetze. Das erste von diesen wird das Gesetz des mechanischen Gleichgewichts sein müssen, wonach der innere Gasdruck dem von außen wirkenden Gravitationsdruck das Gleichgewicht hält. Als zweites Gesetz tritt die Zustandsgleichung der Gase, und zwar im einfachsten Fall die der idealen Gase hinzu, deren Anwendbarkeit freilich nur so lange zutrifft, als die Dichte der Gase klein bleibt; diese Bedingung kann indes selbst bei hohen Drucken erfüllt sein, wenn die Temperatur hinreichend hoch ist. Als drittes Gesetz hat Eddington das von Schwarzschild im Jahre 1906 aufgestellte Gesetz des Strahlungsgleichgewichts benutzt. Bei diesem wird vorausgesetzt, daß aus dem Innern eines Sterns aus unbekannten Gründen (Radioaktivität?) ein mächtiger Energiestrom entspringt, der von den einzelnen durchsetzten Schichten teils absorbiert, teils ausgestrahlt wird. Zu der Annahme eines solchen Energiestroms sind wir durch die Tatsache gezwungen, daß von den Sternen ununterbrochen gewaltige Energiemengen in Form von Strahlung in den Weltraum abgegeben werden. Soll der Strom stationär sein, so muß ein Gesetz des Strahlungsgleichgewichts zugrunde gelegt werden, das bei Eddington folgende Fassung hat: Der Energiestrom im Innern eines Sterns ist proportional dem Gradienten der Energiedichte und umgekehrt proportional der Undurchlässigkeit des Mediums.

Diese drei Gesetze erwiesen sich aber als noch unzureichend zur Gewinnung von Ergebnissen, die mit der Erfahrung im Einklang sind. Es mußte noch, wie Eddington erkannte, der Strahlungsdruck berücksichtigt werden, der bekanntlich von Lebedew und anderen experimentell nachgewiesen worden ist. Der Strahlungsdruck des von innen nach außen fließenden Energiestroms muß zu dem inneren Gasdruck auf ein Massenelement hinzutreten, damit dem von außen nach innen wirkenden Gravitationsdruck das Gleichgewicht gehalten wird. Über die den Strahlungsdruck hervorrufende Energie wird die Annahme gemacht, daß die in der Masseneinheit entstehende Energiemenge innerhalb des Sterns entweder überhaupt konstant ist, oder daß für sie wenigstens ein konstanter Durchschnittswert eingeführt werden kann. Mit dieser Vereinfachung lassen sich die in Betracht kommenden Differentialgleichungen lösen und führen zu dem fundamentalen Ergebnis, daß der Quotient p/T^4 konstant ist, d. h. daß im Innern des Sterns überall der Druck p der vierten Potenz der Temperatur T proportional ist. Zur Ermittelung der Proportionalitätskonstante dient zunächst die Zustandsgleichung der idealen Gase, $p = R/m \cdot \varrho\, T$, worin R die Gaskonstante, ϱ die Dichte, m das Molekulargewicht des Gases bedeutet. Unter Benützung der Untersuchungen von R. Emden über Gaskugeln ergibt sich dann eine einfache

[1]) A. S. Eddington, On the Radiative Equilibrium of the Stars. Monthly Notices of the Royal Astr. Soc. vol. 77, Nov. 1916 und Juni 1917; A. S. Eddington, The interior of a Star, Scientia vol. 23, Jan. 1918.



Beziehung zwischen der Masse M des Sterns, dem Molekulargewicht m des Gases und einer mit der Proportionalitätskonstante zusammenhängenden Konstante β gemäß der Gleichung:

$$2{,}91 \cdot 10^{-69}\, M^2 m^4 \beta^4 = 1 - \beta.$$

Man kann nun die gefundenen Beziehungen auf einen gedachten Stern geringer Dichte anwenden. EDDINGTON wählt einen solchen, dessen Masse gleich $1^1/_2$ Sonnenmasse ist, dessen mittlere Dichte 0,002 (also etwas mehr als Luftdichte) und dessen „effektive Temperatur" 6500° beträgt. (Unter effektiver Temperatur ist diejenige zu verstehen, die eine schwarz strahlende Kugel von der Größe des Sterns haben müßte, um dieselbe Energiemenge wie der Stern auszustrahlen.) Als Molekulargewicht für die Materie des Sterns wird, wegen der anzunehmenden starken Dissoziation, der geringe Wert 2 angenommen. Für den gewählten Stern ergibt sich dann im Mittelpunkt die Dichte gleich $^1/_9$ der Dichte des Wassers, der Druck zu $2 \cdot 10^7$ Atmosphäre, die Temperatur zu $5 \cdot 10^6$ Grad. Halbwegs zwischen Mittelpunkt und Kugeloberfläche ist die Temperatur auf etwa $^1/_4$ des Mittelpunktswertes gesunken. Der Gradient der Temperatur übersteigt nirgends die Größe von $1^1/_2{}^0$ pro Kilometer.

Ein merkwürdiges Resultat läßt sich aus der angegebenen Gleichung noch ableiten. Die Größe $1 - \beta$ stellt das Verhältnis des Strahlungsdruckes zur Gravitation dar. Dies Verhältnis bleibt für geringe Massen verschwindend klein und für Massen bis 10^{33} g kleiner als $^1/_{20}$, steigt aber für Massen von 10^{33} bis 10^{34} g plötzlich von 0,1 bis 0,8, und für noch größere Massen langsam weiter bis zum Grenzwert 1. Nun sind alle Massen selbstleuchtender Sterne, die astronomisch haben bestimmt oder geschätzt werden können, von eben dieser Größenordnung 10^{33} bis 10^{34} g; die Masse der Sonne z. B. ist $1{,}9 \cdot 10^{33}$ g, die kleinste bisher bekannte Masse eines Fixsterns ist $^1/_7$ der Sonnenmasse, während Sterne von mehr als 30facher Sonnenmasse kaum vorzukommen scheinen. Diese Tatsache findet durch das Gesetz des Strahlungsgleichgewichts eine sehr einleuchtende Erklärung. Bei wachsendem Strahlungsdruck kann ein Punkt erreicht werden, wo dieser zusammen mit dem inneren Druck dem Gravitationsdruck gleichkommt, so daß ein Zustand der Instabilität eintritt und schon eine kleine Zusatzkraft ausreichen würde, den Stern auseinander zu sprengen. So erklärt sich, daß Sterne mit sehr großen Massen zwar gelegentlich vorkommen, aber sehr selten sein werden, weil schon eine geringe Rotation oder sonstige kleine Einwirkung sie instabil machen würde.

Zur Prüfung der Theorie auf ihre Richtigkeit können ferner folgende Betrachtungen dienen. Für Massen von der ungefähren Größe der Sonnenmasse und unter Voraussetzung des Molekulargewichts 2, sowie eines konstanten Absorptionskoeffizienten erhält man die Gleichung

$$M^{4/3} \cdot \varrho^{2/3}\ T^{-4} = \text{Konst.}$$

d. h. die effektive Temperatur des Sterns ist proportional der 3. Wurzel aus seiner Masse und der 6. Wurzel aus der Dichte. Die erste Beziehung ist astronomisch nicht greifbar, da die Massen zu wenig verschieden sind, aber die zweite läßt sich mit der Erfahrung vergleichen. Aus der Energieverteilung im Spektrum kann man auf die effektive Temperatur schließen, zumal die Sterne selbst sich auch quantitativ wie schwarze Strahler verhalten. Nun lassen sich die Sterne nach ihrem spektralen Verhalten in sechs Typen einordnen, die man mit den Buchstaben B, A, F, G, K, M bezeichnet. Die heißesten Sterne, vom Typ B (Heliumsterne), haben die effektive Temperatur von etwa 15000°, die nächsten vom Typ A (Wasserstoffsterne) haben 11000°. Beide Klassen von Sternen heißen auch weiße Sterne. Die nächsten beiden Klassen sind gelbe Sterne, die effektive Temperatur sinkt bei Klasse G auf 6000°; die letzte Klasse M (rote Sterne) hat nur etwa 3000°. Was nun andererseits die Bestimmung der Dichte betrifft, so hat man durch statistische Methoden gefunden, daß sich die gelben und besonders die roten in zwei Gruppen, in „Riesensterne" und „Zwergsterne" trennen lassen; die ersteren haben geringe Dichte, daher große Oberfläche und große Leuchtkraft, die zweiten dagegen große Dichte, geringe Oberfläche und geringe Leuchtkraft. Die Dichte der Riesensterne vom Typ M ist von Russell auf $^1/_{25000}$ geschätzt worden, während die Sterne vom Typ A eine durchschnittliche Dichte von $^1/_{10}$ haben. Das Verhältnis der Dichten beider ist also 2500, die 6. Wurzel aus 2500 ist aber 3,7. Dies stimmt gut damit zusammen, daß die effektive Temperatur der M-Sterne 3000°, die der A-Sterne 11000° beträgt. Auch die zwischenliegenden Spektraltypen ordnen sich dem Gesetz gut ein.

Es folgt ferner aus der Theorie, daß die absolute Helligkeit eines Sternes nur von seiner Masse, nicht von seiner Dichte und effektiven Temperatur abhängt. Die absolute Helligkeit eines Sterns muß demnach während seines Entwickelungsganges konstant bleiben. Dies ist verständlich, da sich durch die Kontraktion die Oberfläche des Sterns vermindert, andererseits aber seine Oberflächentemperatur wächst; beide Änderungen wirken in entgegengesetztem Sinne auf die Gesamthelligkeit des Sterns und heben einander auf. Erst bei den Sternen von großer Dichte, den Zwergsternen, wo das Gasgesetz für ideale Gase nicht mehr gilt, findet eine Abweichung insofern statt, als mit wachsender Verdichtung die Helligkeit sehr schnell sinkt.



Man kann indessen die Theorie auch auf die dichten Sterne erweitern, wennschon nicht mit derselben Sicherheit, wie im vorhergehenden Fall. Man kann die von der Waalssche Zustandsgleichung benutzen, muß dann aber die zweite der hierin vorkommenden Konstanten (die „maximale Dichte“) als unbekannt einführen und sie astronomisch bestimmen. Eddington berechnet ihren Wert aus den bekannten Daten der Sonne zu 3,9. Die Differentialgleichungen lassen sich in diesem Falle nur durch mechanische Quadratur lösen. Es ergibt sich dann, daß die effektive Temperatur mit wachsender Dichte nicht unbegrenzt steigt, sondern nur bis zu einem Maximalwert, der bei einer Dichte von 0,1 bis 0,5 erreicht wird. Der Betrag der entsprechenden Höchsttemperatur hängt von der Masse des Sterns ab; damit ein Stern die Temperatur von 15000° erreicht, muß seine Masse mindestens das Vierfache der Sonnenmasse sein. Bei noch größerer Dichte fällt die effektive Temperatur schnell und steil ab. Dieser Zusammenhang entspricht den Anschauungen, die auf Grund astronomischer Tatsachen schon früher allgemein anerkannt waren. Diese Anschauungen haben aber nun eine befriedigende theoretische Begründung gefunden. Auch die wenigen, etwa 12 Sterne, bei denen effektive Temperatur, mittlere Dichte und Masse bekannt sind, ordnen sich der von der Theorie geforderten Beziehung zwischen diesen drei Größen gut ein. *P.*

4. Unterricht und Methode.

Schülerübungen als Grundlage des Physikunterrichts in den Mittelklassen. Von F. Bremer. In der *Monatsschrift für höhere Schulen 17, 358 (1918)* macht der Verfasser eingehende Mitteilungen über die von ihm eingerichteten Schülerübungen an der Friedrichwerderschen Oberrealschule zu Berlin und die dabei leitenden Grundsätze. Er gibt für die Mittelstufe (O III und U II) den verbindlichen Übungen in gleicher Front den Vorzug, weil es sich darum handle, die physikalischen Grundbegriffe in den jugendlichen Köpfen entstehen zu lassen, wofür die eigene Betätigung bei weitem am geeignetsten sei. Er sagt: „Der Demonstrationsunterricht kann immer nur das Skelett eines physikalischen Wissens liefern. Leben wird ihm erst eingehaucht durch die vielen kleinen Bemerkungen, die der Schüler nebenher macht. Er lernt mit Handwerkszeug umgehen, ... er bekommt Drähte aus Eisen, Kupfer, Nickelin, blanke und besponnene, Stahlblech, Eisenblech, Kupfer- und Zinkblech in die Hand. Er lernt alle möglichen Gläser und ihre Eigenschaften kennen, Glasröhren biegen, ausziehen, schneiden usw. Welche Fülle physikalischer Bemerkungen lassen sich an alle diese Dinge knüpfen! Von wieviel Einzelheiten ist ferner das Gelingen und Mißlingen eines jeden Versuchs abhängig!“ Der Verfasser ist auch überzeugt, daß Grundbegriffe (z. B. Ampere und Volt, spezifische Wärme, Kalorie, Arbeit) nur durch zahlreiche eigene Versuche und Übungen so befestigt werden können, daß sie den Schülern in Fleisch und Blut übergehen; der Demonstrationsunterricht könne dies Ziel bei der Mehrzahl der Schüler nicht erreichen.

Der Verfasser legt auch den qualitativen Übungen mehr Wert bei, als es gewöhnlich geschieht, er läßt solche auch in der Lehre vom Luftdruck, von der Reibungselektrizität und im Magnetismus anstellen und schreibt ihnen eine besonders anregende Wirkung auf die Schüler der Mittelstufe zu. Bei quantitativen Übungen legt er im allgemeinen kein Gewicht auf allzu große Genauigkeit, betont aber andererseits, daß es beispielsweise bei der Bestimmung der spezifischen Wärme nach der Mischungsmethode zwar nicht auf große Genauigkeit der Wägung, wohl aber auf möglichst große Genauigkeit der Temperaturmessung ankomme. In diese und ähnliche Dinge selbst Einblick gewinnen, alle Beobachtungen verfolgen, das erst sei wahre Physik.

Als einen großen Vorteil dieser Art von Übungen betrachtet es der Verfasser, daß die Schüler veranlaßt werden, darüber in freiem Vortrag zu sprechen, und die Scheu vor zusammenhängender Rede verlieren. Bei den Wiederholungen dieser Art entsteht auch für die Schüler die weitere Aufgabe, das Wesentliche vom Unwesentlichen zu trennen und nur das erstere zu berichten, das Unwesentliche aber wegzulassen.

In der Regel ist eine wöchentliche Stunde für die Übungen, eine für die Wiederholung und die Weiterführung des Pensums angesetzt worden. Bei größerer Schülerzahl wurde die Klasse in zwei Abteilungen geteilt, die zu verschiedenen Zeiten übten. Die erforderlichen Apparate waren von einfachster Art und erforderten (nach Friedenspreis) bei sechsfacher Anschaffung rund etwa 800 M.

Der Verfasser hat seinem Aufsatz auch eine interessante Lehrprobe über Elektrizitätsgrad und Potential eingefügt, die wir leider wegen des derzeitigen Raummangels nicht wiedergeben können. Man vergleiche dazu Bremers Leitfaden der Physik, I. Teil (Leipzig, B. G. Teubner) S. 72. Wir teilen aber noch die folgenden Leitsätze mit, die von ihm gelegentlich eines in Berlin gehaltenen Vortrags aufgestellt worden sind.

1. Die physikalischen Grundbegriffe werden am besten durch unmittelbare Anschauung, d. h.

durch Schülerübungen eingeführt und befestigt. — 2. Das ganze Pensum der Unterstufe läßt sich auf der Grundlage von Schülerübungen aufbauen. — 3. Jede zusammenhängende Übungsgruppe muß in einer Kurzstunde erledigt werden können. Abfragen und längere theoretische Erörterungen sind in der Übungsstunde zu vermeiden. — 4. In der zweiten wöchentlichen Physikstunde haben die Schüler über ihre Ergebnisse in zusammenhängendem Vortrag Bericht zu erstatten. Hieran knüpfen sich weitere theoretische Besprechungen, Wiederholungen und ergänzende Demonstrationsversuche. — 5. Es ist zweckmäßig, den Schülern ein diesem Unterricht genau angepaßtes Lehrbuch in die Hand zu geben. — 6. Das Hauptziel des Unterrichts auf der Oberstufe der Oberrealschulen ist die Erkenntnis der großen Zusammenhänge in der Natur. Hierzu gehören: das absolute Maßsystem, das Gesetz von der Erhaltung der Energie, die mechanische Wärmetheorie, die Lehre von den Licht- und elektrischen Wellen usw. — 7. Dieses Pensum läßt sich auf Übungen „in gleicher Front" nicht aufbauen. — 8. Gegen verbindliche frontale Schülerübungen spricht auch der Umstand, daß die Interessen der Schüler in den oberen Klassen bereits zu stark differenziert sind. — 9. Die Übungen auf der Oberstufe sind wahlfrei und werden mit möglichster Freiheit gehandhabt. — 10. Es empfiehlt sich, den Schülern gedruckte Übungsanweisungen in die Hand zu geben. —

Wir erblicken in den Vorschlägen des Verfassers einen wertvollen Beitrag zur weiteren Lösung des Problems der Schülerübungen, wie überhaupt zur Didaktik des physikalischen Unterrichts, und sehen einen wesentlichen Vorzug darin, daß sein Verfahren in hohem Grade das Interesse der Schüler zu reizen und sie zur Selbsttätigkeit und zum Nachdenken anzuregen vermag. Nur durch Beachtung der vielen kleinen Probleme, die sich beim Selbstarbeiten beständig aufdrängen, werden die Schüler dazu geführt werden, auch den größeren Problemen der Physik und den Versuchen zu ihrer Lösung das rechte Verständnis entgegenzubringen.

Es stellt sich aber auch bei dieser Art des Betriebes heraus, daß Übungen in gleicher Front nicht ohne genaue Vorschrift und ohne ein das Tempo regelndes Kommando des Leiters ausführbar sind; auch darf die Zeit nicht zu knapp bemessen sein, wenn eine volle Auswertung der Versuche in dem vom Verfasser beabsichtigten Sinne stattfinden soll. *P.*

5. Technik und mechanische Praxis.

Die Grenzen der Kraftübertragung durch Wechselströme. Von M. Dolivo-Dobrowolsky. Der hervorragende Elektrotechniker behandelte in einem Vortrage vor der Elektrotechnischen Gesellschaft (abgedruckt in *E. T. Z. 1919 Heft 1*) die Frage, ob das System des hochgespannten Drehstroms für alle künftigen Kraftübertragungen auch auf sehr große Entfernungen noch zur Verwendung geeignet bleiben wird. Man hat in Betracht zu ziehen, daß das Bedürfnis der Kraftübertragung nicht bei den heutigen Abmessungen stehen bleiben, sondern sich auf Entfernungen bis 500 oder gar 1500 km ausdehnen wird; der Kraftverbrauch in Industrie und Landwirtschaft wird dazu zwingen, weit entfernte, namentlich in Form von Wasserkraft vorhandene Energiequellen für diesen Zweck nutzbar zu machen. Man wird bei großen Entfernungen, z. B. 1000 km daran denken, die Spannung zu erhöhen, die schon jetzt mancherorts bis 100000 Volt reicht. Indessen wächst bei vermehrter Leitungslänge auch der „Ladestrom", d. h. die bei jedem Stromwechsel in der Leitung aufgespeicherte Ladungsenergie; der Ladestrom führt einen beträchtlichen Energieverlust herbei, derart, daß die Verminderung des Wirkungsgrades auch durch Erhöhung der Spannung nicht mehr ausgeglichen werden kann. Denn für jede gegebene Hochspannungsleitung gibt es eine theoretische Spannungsgrenze, bei der die kalorischen Leitungsverluste ihr Minimum haben; bei zu niedriger Spannung ist der Wattstrom zu groß, bei zu hoher der Ladestrom. Das bekannte Grundgesetz der elektrischen Kraftübertragung, daß die Verluste in einer gegebenen Leitung in umgekehrtem Verhältnis zum Quadrat der Spannung heruntergehen, ist bei Wechselströmen nicht mehr ohne weiteres gültig, bei sehr langen Leitungen und sehr hoher Spannung ist es geradezu falsch. Je höher die Kapazität der Leitung, desto niedriger ist die Spannungsgrenze [1]). Man könnte zwar daran denken, den Ladungsstrom durch quer zur Leitung geschaltete Drosselspulen (wie die Pupinschen Spulen bei Telephonfernleitungen) zu kompensieren, doch sind solche Drosseln sehr groß und bringen besonders bei sehr hohen Spannungen eine Reihe neuer Störungsquellen mit sich. Auch die eigene Induktivität der Leitung kann hier nicht helfen, sondern erzeugt nur lästige Kombinationsspannungen. Die kombinierte Wirkung von Kapazität und Induktivität der Leitung kann eine Gegenspannung erzeugen, die höher ist als die Spannung am Elektrizitätswerk und überdies wegen ihrer Abhängigkeit von der Belastung zu sehr großen Spannungsschwankungen von verheerender Wirkung führt. Nach der Ansicht des Vortragenden stellen daher Entfernungen von einigen hundert Kilometern bei Span-

[1]) Weitere Ausführungen hierüber findet man a. a. O, S. 2.

nungen bis etwa 200000 Volt die ungefähre Grenze dar, bis zu der man, äußerstenfalls mit Wechselströmen der üblichen Frequenz, bei Freiluftleitungen gehen kann.

Andererseits haben sich bei anderen Fernübertragungen, beim Telegraphen- und Telephonverkehr, die Kabel vorteilhafter als die Freileitungen erwiesen. Auch die Kraftübertragung wird mehr und mehr zur Verwendung von Kabeln übergehen müssen. Bei dieser liegt aber die Grenze für die Benutzung von Wechselströmen noch bedeutend niedriger als bei Luftleitungen. Dagegen hat bei Kabelleitungen der Gleichstrom außerordentliche Vorzüge vor dem Wechselstrom, und zwar um so mehr, je höher die Spannung ist. Es kommt hier in Betracht die viel günstigere dauernde Ladung des Dielektrikums und die Abwesenheit der durch Stromwechsel erzielten Glimmlichterscheinungen, die die Haltbarkeit der Isolation beeinträchtigen, weswegen die Isolierschicht bei Gleichstrom bedeutend dünner gehalten werden kann, was wieder eine größere Biegsamkeit und leichtere Verlegung des Kabels gestattet. Drosselspulen und Kondensatoren verursachen nicht die Störungen, die leicht bei Wechselströmen auftreten.

Aus solchen Gründen sagt der Verfasser für die Zukunft hochgespannte Gleichstrom- und Kabelleitungen als Grundlage für die Fernübertragung elektrischer Energie voraus und stellt damit die Elektrotechnik vor eine neue bedeutsame Aufgabe, deren Lösung er nicht nur für lohnend, sondern auch für notwendig und unvermeidlich hält. *P.*

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Vorlesungen über technische Mechanik von A. Föppl. Zweiter Band. Graphische Statik. Vierte Auflage. Verlag von B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1918. 406 Seiten. Geb. Mk. 16,— + Teuerungszuschlag.

Es erübrigt sich, an dieser Stelle auf die wissenschaftlichen Eigenschaften und Vorzüge des Föpplschen Werkes hinzuweisen. Es ist allgemein bekannt und liegt nunmehr in der vierten Auflage vor. Wenn der Schulmann das Wort „technisch" in dem Titel eines Werkes liest, wird er leicht geneigt sein, es als zu speziell beiseite zu legen. Wir möchten darauf hinweisen, daß die Physiker und Mathematiker unserer höheren Schulen aus diesem Buche reiche Anregung schöpfen können. Besonders das Parallelogramm der Kräfte in seinen Anwendungen beim Brückenbau, bei der Konstruktion der Fachwerke, ferner die Elastizität, Gleichgewichtsbedingungen und andere Gebiete liefern Aufgaben in Menge, die dem Schüler interessant sind und ihn lehren, die ihm auf Schritt und Tritt begegnenden Baukonstruktionen mit wissenden Augen zu betrachten.

Albert Rohrberg, Berlin-Treptow.

Sumpf-Hartensteins Grundriß der Physik. Ausgabe A. 14. Auflage. Bearbeitet von H. Hartenstein. Mit 675 Abbildungen und 1 Spektraltafel. August Lax, Hildesheim und Leipzig, 1918. 407 S. M. 4,50.

Diese Auflage ist ebenso wie die von Ausgabe B (vgl. das vorige Heft S. 66) durch eine große Reihe von Neuzeichnungen und eine recht ansehnliche Zahl von neuen Abbildungen von der vorhergehenden verschieden. Eine Erweiterung hat namentlich die Wellentheorie des Lichtes und ihre Anwendung auf Doppelbrechung erfahren, obwohl es dem Unterricht wohl zumeist an Zeit fehlen wird, hierauf näher einzugehen. *P.*

Lehrgang der Chemie und Mineralogie. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für höhere Schulen. Von Prof. Dr. Franz Küspert. Unterstufe I mit 152 Abbildungen. Nürnberg, Carl Koch, 1918. IV u. 120 S.

Seiner „Vorstufe" für den in der 4. Klasse der bayerischen Realschulen beginnenden Unterricht in Chemie und Mineralogie — vgl. d. Zschr., 30 (1917), S. 301 — hat der Verf. diesen für die 5., der preußischen Obertertia entsprechende Klasse bestimmten Teil folgen lassen. Der Inhalt steht mit den 1914 für Bayern erlassenen Vorschriften im Einklang und beginnt mit einer „allgemeinen Lehre vom Stoff", in der Kristallographie, Trennung von Stoffgemischen und Abbau wie Aufbau von Verbindungen behandelt werden. Dieser Abschnitt führt zum Verständnis des Begriffs „Element" sowie der chemischen Grundgesetze (Gewichtsverhältnisse, Raumverhältnisse bei Gasen und Gesetz der Arbeit bei chemischen Vorgängen). Den zweiten Abschnitt bildet die „Beschreibung wichtiger Elemente" (Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel, Halogene). Eingeschaltet ist die Atomlehre und ein Kapitel über Säuren, Basen, Salze, Elektrolyte, Ionen. Den Schluß bildet eine Inhaltsübersicht und eine Angabe der benützten Literatur sowie der Quellen für Abbildungen und Versuchsanordnungen. Das Buch trägt den Charakter neuerer Lehrbücher von der Art der Ostwaldschen, d. h. die Entwickelung der allgemeinen Begriffe und der Gesetze ist Hauptzweck und die naturhistorische Behandlung der Stoffe tritt zurück. Man kann verschiedener Meinung darüber sein, ob dies der richtige Standpunkt für eine Vorstufe ist. Er

hat jedenfalls zur Folge, daß an das Verständnis der Schüler — beispielsweise bei der Umrechnung eines Gasvolumens auf den Normalzustand oder bei der Besprechung der Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von Konzentration und Temperatur — recht hohe Anforderungen gestellt werden müssen. Auf die Bedeutung der Elektrolyse weisen zahlreiche Versuche hin. Die chemische Zeichensprache wird nach sorgfältiger Vorbereitung erst gegen Ende des Lehrgangs eingeführt. Für die Atomgewichte dient der Wasserstoff als Einheitselement, was ja für den Anfangsunterricht seine Vorteile hat. Zu loben sind die zahlreichen guten Abbildungen, auch die das geschichtliche Interesse anregenden über metallurgische Arbeiten in älterer Zeit, ferner die sorgfältige Berücksichtigung neuerer Ergebnisse und vor allem der umfangreiche Übungsstoff, der an passenden Stellen in Form von „Fragen und Anleitungen zu Schülerübungen" hinzugefügt ist. *J. Schiff.*

Vereine und Versammlungen.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts zu Berlin.

Sitzung am 19. Januar 1917. Herr Heyne sprach über die für die Schule am meisten geeigneten Luftpumpen und hob die Vorzüge der Gaedeschen Kolbenluftpumpe besonders hervor. — Derselbe sprach über die städtischen Veranstaltungen zur Förderung des naturwissenschaftlichen Unterrichts, deren Weiterbestehen, wenn auch in geringerem Umfange, vorgesehen sei.

Sitzung am 12. Juni 1917. Die Physikräume und Sammlungen des Schmargendorfer Realgymnasiums wurden besichtigt. Herr Kisse zeigte: 1. Glasschienen auf einer schiefen Ebene für Fallversuche mit Stahlkugeln, 2. eine Anordnung zur Demonstration des Projektionssatzes, 3. einen Apparat zur Messung des Boden- und Seitendruckes der Flüssigkeiten, 4. Versuche über Belastung und Geschwindigkeit von Fallschirmen.

Sitzung am 14. September 1917. Herr Franz sprach über die sogenannte Elektrolyse des Wassers, die gewöhnlich nach Daniell als ein indirekter Vorgang dargestellt würde, bei der aber die Zersetzung der zugefügten Schwefelsäure das primäre sei. Der Vortragende hielt diese Erklärung nicht für haltbar und entwickelte 1. energetische, 2. rein chemische Gründe gegen jene Auffassung, so daß der Schwefelsäure nur katalytische Funktionen zukämen und somit doch eine direkte Wasserzersetzung eintrete.

Sitzung am 21. Juni 1918. Herr Heyne widmete einen Nachruf dem verstorbenen langjährigen Vereinsmitgliede Geh.-Rat Reichel, der durch die von ihm konstruierten mechanischen Apparate und viele fruchtbare Gedanken namentlich in früheren Jahren im Verein wertvolle Anregungen gegeben habe. — Der Verein beschloß Herrn F. C. G. Müller aus Anlaß seines 70. Geburtstages zum Ehrenmitgliede zu ernennen. — Herr Heyne sprach über die Zweckmäßigkeit einer „Kartei" für physikalische Sammlungen. Zu jedem Apparat sollte ein Zettel gehören, auf dem nicht nur Angaben über die Anschaffung, sondern auch die Konstanten des Apparates, seine Eigentümlichkeiten usw. zu verzeichnen seien. — Herr Kisse sprach über den neuen Stern und sein Spektrum.

Sitzung am 20. September 1918. Herr Heyne sprach über die für physikalische Sammlungen angeordnete Metallbeschlagnahme, die nicht zu weit gehen dürfe. Herr Hahn forderte auf, historisch bedeutungsvolle Apparate der Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu übergeben. — Derselbe berichtete über das von der Kommission des Vereins hergestellte Musterverzeichnis physikalischer Einrichtungen und Apparate, das in dem ersten Heft der „Mitteilungen" der Hauptstelle abgedruckt ist. — Derselbe machte auf die für den Winter von der Hauptstelle vorbereiteten Lehrgänge aufmerksam.

Sitzung am 14. Dezember 1918. Herr Kisse zeigte einige Schulversuche: 1. Eine Vorrichtung für stereoskopisches Sehen, bei der die beiden Bilder durch Spiegel entworfen werden, 2. eine Vorrichtung zur Demonstration der Wirkung eines Segels, 3. einen Versuch über die Absorption der Wärmestrahlen durch wasserdampfhaltige Luft. *Schk.*

Korrespondenz.

Die in diesem Heft beschriebenen Apparate von Dr. G. Looser für Versuche mit schwimmenden Magneten werden von der Firma Leypold Söhne in Köln geliefert, die Kapseln von der Firma Reininghaus in Essen (Ruhr) Herkulesstraße.

Der in *Heft 2 d. Jahrgangs S. 57* von J. Zahradníček Herrn W. Volkmann zugeschriebene Interferenzversuch rührt nicht von diesem her, sondern wurde von mir in *ds. Zeitschr.* **16**, *30* beschrieben, auch in meinem *Experimentierbuch II, 80* mit lehrreichen Abänderungen mitgeteilt. Auch bei der von Zahradníček beschriebenen Aufstellung (... „und die Zinken senkrecht zu der Achse des anderen Rohres zu stehen kommen"), sind zwei Wirkungen möglich: Aufhebung des Tons in der Stellung der Gabel wie in der Figur, sowie Verstärkung des Tons, wenn die Gabelzinken in die Horizontale nebeneinander gebracht werden. *H. Rebenstorff.*

Himmelserscheinungen im Juni und Juli 1919.

12h = Mittag, 0h und 24h = Mitternacht. (Berliner Zeit = M E Z — 0,1h.)

MEZ 12h		Juni 5	10	15	20	25	30	Juli 5	10	15	20	25	30
☿	AR	4h 18m	5.4	5.51	6.38	7.21	7.59	8.32	9.0	9.23	9.41	9.54	9.59
	D	21°	24	25	25	24	22	20	18	15	13	11	9
♀	AR	7h 57m	8.20	8.42	9.3	9.24	9.43	10.1	10.19	10.35	10.50	11.3	11.15
	D	23°	22	20	19	17	15	13	11	9	7	5	3
⊙	AR	4h 49m	5.10	5.31	5.52	6.12	6.33	6.54	7.14	7.35	7.55	8.15	8.34
	D	22,5°	22,9	23,3	23,4	23,4	23,2	22,9	22,3	21,7	20,8	19,8	18,7
♂	AR	4h 21m	4.36	4.51	5.6	5.21	5.35	5.50	6.5	6.20	6.34	6.49	7.3
	D	22°	22	23	23	24	24	24	24	24	24	24	23
♃	AR		7h 20m		7.29		7.38		7.48		7.57		8.6
	D		22°		22		22		21		21		21
♄	AR	9h 43m						9.53					
	D	15°						14					
Sternzeit [1])		4h 51m 17s	5.11.0	5.30.43	5.50.25	6.10.8	6.29.51	6.49.34	7.9.17	7.28.59	7.48.42	8.8.25	8.28.8
Zeitgl.		— 1m 53s	— 0,59	+ 0.2	1.6	2.11	3.14	4.11	5.0	5.39	6.5	6.19	6.18
Breite von Berlin. Ortszeit													
⊙	Aufg [2])	3h 43m	3.40	3.39	3.39	3.40	3.42	3.46	3.50	3.56	4.2	4.9	4.17
	Untergang [2])	20h 14m	20.18	20.21	20.24	20.24	20.24	20.22	20.19	20.15	20.9	20.2	19.55
☾	Aufg [2])	11h 51m	17.24	21.32	23.31	1.27	7.3	13.1	18.8	20.56	22.51	2.7	8.24
	Untergang [2])	—	1.37	5.16	11.14	17.49	21.37	23.18	1.20	6.33	12.56	18.29	20.43

[1]) Im Stargarder Meridian. [2]) Für den Mittelpunkt der Scheibe.

Sommersanfang. M E Z. Juni 22, 13h.

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	Mai 29, 14h 12m	Juni 5, 13h 22m	Juni 13, 17h 28m	Juni 21, 6h 33m
	Juni 27, 21h 53m	Juli 5, 4h 17m	Juli 13, 7h 2m	Juli 20, 12h 3m
	Juli 27, 6h 21m	Aug. 3, 21h 12m		

Der **Mond** tritt an folgenden Tagen (MEZ) in die abgerundeten **Sternbilder** des **Tierkreises:**

	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs	
Länge	25°	55°	85°	115°	145°	175°	205°	235°	265°	295°	325°	355°	
Mai			30	1	4	6	8	11	14	16	18	20	Juni
Juni	23	25	27	29	1	3	6	8	11	13	16	18	Juli
Juli	20	22	24	26	28	31	2						August

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	♀ Abendstern nachm.	♂ (Zwillinge) vorm.	♃ (Zwillinge) nachm.	♄ (Krebs, Löwe) nachm.	vorm. (nachm.)	
V 21	D 8,8h U 11,5h		D 9,4 U 11,5	D 9,6	U 1,3	☿ bleibt unsichtbar
VI 10	D 9,3h U 11,3h		D 9,8 U 10,4	D 10,2	U 0,0	
VI 30	D 9,4h U 10,7h		(VI 18, 10,0)	D 10,3	U (10,7)	A = Aufgang
VII 20	D 9,0h U 9,7h	2,3		(VII 8, 10,2)		U = Untergang
VIII 9	8,4h	A 2,1 D 3,1	3,2 vorm.			D = Dämmerung

Berichtigung zur Planeten-Tafel im ersten Heft. Die Bahn des Neptun ist um 20° Länge nach links zu verschieben.

M. Koppe.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.



Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXII. Jahrgang. Viertes Heft. Juli 1919.

Dynamik der Seilwellen.

Von **Dr. H. Schüepp**, Zollikon bei Zürich.

Unter dem Titel Wellenlehre werden in den Lehrbüchern Bewegungen in elastischen Körpern betrachtet. Dabei beschränkt man sich im wesentlichen auf eine Klärung der Phoronomie des Gebiets. Der Nachweis, daß auch hier die NEWTONschen Prinzipien den Vorgang beherrschen und daß sich aus ihnen die Formeln für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergeben, wird in der Regel nicht erbracht. Bei dieser Behandlungsweise erhält man den Eindruck, als sei die Wellenlehre ein selbständiges Kapitel neben der Mechanik mit eigenen Untersuchungsmethoden. Dadurch verliert sie einen Teil ihres Wertes; sie ist nicht in dem Maße, wie sie es sein könnte, das Bindeglied zwischen Mechanik und Akustik. Wo der Verzicht auf eine genauere Betrachtung der Vorgänge begründet wird, geschieht es mit dem Hinweis auf die zu großen mathematischen Schwierigkeiten. Ich möchte im folgenden zeigen, daß diese Schwierigkeiten bei der Behandlung von Transversalwellen auf gespannten Seilen und Longitudinalwellen in Stäben nicht so groß sind, wie man gewöhnlich annimmt. Sobald man von Anfang an den allgemeinen Fall in Angriff nimmt und nicht nur Sinuswellen betrachtet sind für eine durchaus strenge Behandlung keine speziellen Kenntnisse aus der Infinitesimalrechnung und keine umfangreichen Rechnungen erforderlich; man kommt mit der Definition der Beschleunigung bei geradlinigen Bewegungen aus. Ich werde in den folgenden Entwicklungen gelegentlich über das Gebiet der Schulphysik hinausgehen, wo sich mit den angewandten Hilfsmitteln leicht weiter reichende Ergebnisse gewinnen lassen.

I. Fortpflanzung von Seilwellen.

Auf einem geradlinigen, gespannten Seil möge sich eine ebene Ausbuchtung mit konstanter Geschwindigkeit c ohne Änderung ihrer Form längs des Seiles fortpflanzen. Dabei sollen die Punkte des Seiles nur Bewegungen normal zur Seil-

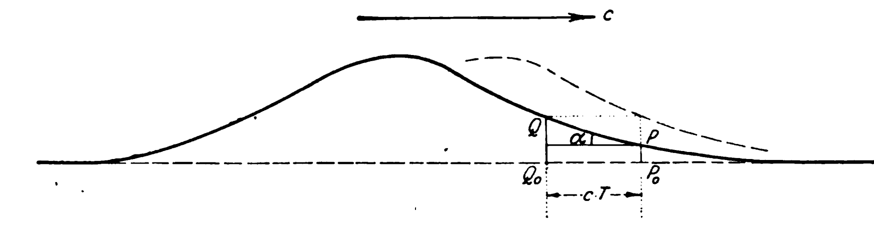


Fig. 1.

richtung ausführen. Die Form der Ausbuchtung sei derart gewählt, daß die Entfernungen der Seilpunkte von der Geraden und die Winkel zwischen den Kurventangenten und der Geraden klein bleiben. Wir untersuchen zuerst den Zusammenhang zwischen c, der Kurvenform und den Geschwindigkeiten und Beschleunigungen

eines Seilpunktes P (Fig. 1)[1]). τ sei ein kleines Zeitintervall, Q_0 der um die Strecke $c \cdot \tau$ rückwärts P_0 liegende Punkt der Geraden. Dann wird der Punkt P während der Zeit τ aus der Entfernung PP_0 von der Geraden in die Entfernung QQ_0 übergehen. Er legt also den Weg $QQ_0 - PP_0 = c \cdot \tau \cdot \operatorname{tg} \alpha$ zurück. Demnach ist seine Geschwindigkeit v

$$1) \qquad v = c \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

In analoger Weise erhalten wir (Fig. 2) aus der Geschwindigkeit $c \cdot \operatorname{tg} \alpha$ von P im betrachteten Augenblick und der Geschwindigkeit $c \cdot \operatorname{tg} \alpha'$ nach τ Sekunden.

$$\text{Beschleunigung} = \frac{c \operatorname{tg} \alpha' - c \operatorname{tg} \alpha}{\tau} = \frac{c (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha)}{\tau}$$

Mit Rücksicht auf unsere Voraussetzung über die Form der Welle dürfen wir an Stelle der Tangenten die Winkel selber setzen und erhalten

$$\text{Beschleunigung} = \frac{c(\alpha' - \alpha)}{\tau}$$

Wir zeigen, daß eine Bewegung von der beschriebenen Art in einem gespannten Seile wirklich möglich ist, wenn c einen bestimmten von der Spannung S des Seiles und der Masse μ pro Längeneinheit abhängigen Wert besitzt; wir zeigen mit anderen Worten, daß für einen bestimmten Wert von c die auf ein Teilchen

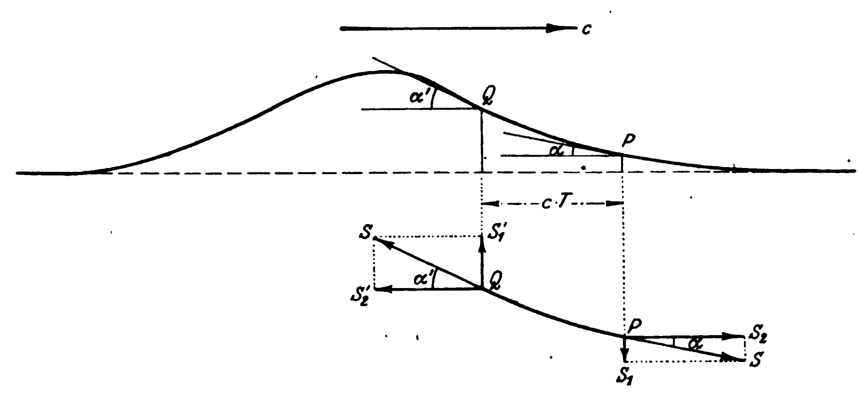


Fig. 2.

wirkende resultierende Kraft identisch ist mit dem Produkte Masse mal Beschleunigung und mit der Beschleunigung gleiche Richtung besitzt. Wir betrachten dazu wiederum das Teilchen PQ (Fig. 2) Um die Resultierende der beiden darauf wirkenden Kräfte S zu erhalten, zerlegen wir dieselben in Komponenten und benutzen die Voraussetzung, daß α und α' kleine Winkel sind. Es ist:

$$S_1 = S \sin \alpha = S \cdot \alpha \qquad S_2 = S \cdot \cos \alpha = S$$
$$S_1' = S \cdot \sin \alpha' = S \cdot \alpha' \qquad S_2' = S \cdot \cos \alpha = S$$

Die Resultierende steht also normal zur Geraden; sie hat die Richtung der Beschleunigung. Ihre Größe wird:

$$\text{Resultierende Kraft} = S_1' - S_1 = S \cdot (\alpha' - \alpha).$$

Die Masse unseres Teilchens ist $c \cdot \tau \cdot \mu$, die Beschleunigung $\frac{c(\alpha' - \alpha)}{\tau}$ also:

$$\text{Masse mal Beschleunigung} = c \cdot \tau \mu \cdot \frac{c(\alpha' - \alpha)}{\tau} = c^2 \cdot \mu \cdot (\alpha' - \alpha).$$

Die beiden Werte sind wirklich identisch, wenn $S = c^2 \cdot \mu$ oder

$$2) \qquad c = \sqrt{\frac{S}{\mu}}$$

[1]) Der Deutlichkeit halber sind in allen Figuren die Höhen größer gezeichnet, als unseren Annahmen über die Wellenform entspricht.

Führt der Anfangspunkt eines Seiles irgend eine periodische Bewegung mit der Schwingungsdauer T aus, so hat sich die Bewegung nach der Zeit T über die Strecke

$$\lambda = c \cdot T \tag{3}$$

ausgebreitet und pflanzt sich in unveränderter Form fort. Dieser ersten Welle werden kongruente folgen, so daß auf dem Seil in irgend einem Augenblick kongruente Wellen hintereinander liegen. Alle Punkte führen dieselbe periodische Bewegung mit der Schwingungsdauer T aus. Doch beginnen die Punkte die Bewegung nicht gleichzeitig. Wir reden in diesem Fall von periodisch fortschreitenden Wellen und nennen λ die Wellenlänge. Führen wir an Stelle der Schwingungsdauer T die Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit $n = \frac{1}{T}$ ein, so nimmt die Gleichung 3 die Form an

$$c = n \cdot \lambda. \tag{4}$$

Die Gleichungen 3 und 4 gelten, wie ausdrücklich hervorgehoben sei, nicht nur für harmonische Schwingungen des Anfangspunktes, also nicht nur für fortschreitende Sinuswellen.

Für die Fortpflanzung von Seilwellen gilt das Prinzip der Superposition. Sind 2 Seilwellen gegeben, die sich auf demselben Seil in gleicher oder entgegengesetzter Richtung fortpflanzen, so erhält man eine weitere mögliche Bewegung des Seiles durch Zusammensetzen derselben. Für die zusammengesetzte Bewegung werden nämlich sowohl die Beschleunigungen, als auch die gegen die Gerade gerichteten resultierenden Kräfte die algebraischen Summen der entsprechenden Größen bei den Teilbewegungen und die Grundgesetze der Mechanik sind wieder erfüllt. Das Gesetz der Superposition gibt Gelegenheit, an Beispielen weitere Bewegungsvorgänge auf gespannten Seilen zu erklären. Es ist empfehlenswert, in der Schule als Wellenform einfache Ausbuchtungen und nicht periodische Wellen zu verwenden. Dadurch wird die zeichnerische Arbeit des Schülers vereinfacht und man zieht in ihm nicht das Vorurteil groß, daß in der Natur nur periodische Wellen vorkommen (vergl. Geräusche, Knall, Röntgenstrahlen). Man konstruiere z. B. für zwei kongruente, entgegengesetzt laufende Ausbuchtungen in gleichen zeitlichen Abständen die resultierende Seilform. Zeichnet man als Anfangsstellung diejenige, bei der beide Teilwellen sich decken, so erhält man Aufschluß über die Bewegung, falls irgend eine Stelle eines gespannten Seiles aus ihrer Ruhelage gebracht und hierauf losgelassen wird. Man erkennt, daß nach einer Reihe von Zwischenformen nach beiden Seiten kongruente Wellen weggehen, welche zur anfänglichen Ausbuchtung affin sind, welche nämlich gleiche Länge wie diese aber nur halb so große Höhe besitzen. Zwei entgegengesetzt laufende, zur Achse symmetrische Ausbuchtungen mit der symmetrischen Stellung als Ausgangslage beschreiben den Vorgang, wenn bei einem gespannten Seil zwei benachbarte Stellen gleichzeitig nach entgegengesetzten Seiten Anfangsgeschwindigkeiten erteilt werden. Die Bewegungen, die durch Superposition gleichlaufender Wellen entstehen, zeigen keine neuen Erscheinungen; es sind wieder nach der gleichen Richtung fortschreitende Wellen.

Wir untersuchen nunmehr die Kraft, welche erforderlich ist, um einen Seilpunkt eine vorgeschriebene Bewegung normal zur Seilrichtung zu erteilen. Dabei denken wir uns zunächst das Seil nach beiden Seiten unbegrenzt. Damit die entstehenden Wellen unseren Voraussetzungen genügen und Gleichung 2 gültig ist, müssen wir voraussetzen, daß der geführte Punkt sich nie weit von der Ruhelage entferne und daß seine Geschwindigkeit stets klein sei im Vergleich zur Fortpflanzungsgeschwindigkeit c der Wellen. Im geführten Punkt P (Fig. 3) wird das Seil im allgemeinen eine Knickung aufweisen. Zur Führung des Punktes P ist eine Kraft erforderlich, welche gleiche Größe wie die Resultierende K der beiden Spannungen S besitzt und ihr entgegen gerichtet ist. Nennen wir die Geschwindigkeit des geführten Punktes v,



so wird nach Gleichung 1 $v = c\,\mathrm{tg}\cdot\alpha$ und daher unter Berücksichtigung von Gleichung 2

$$K = 2\cdot S\cdot \mathrm{tg}\,\alpha = 2\,c^2\mu\cdot\frac{v}{c} = (2\,c\,\mu)\cdot v$$

$2\,c\mu$ ist eine Konstante. Die zur Führung nötige Kraft ist also proportional der Geschwindigkeit des geführten Punktes und hat gleiche Richtung wie diese Geschwindigkeit. Wir können uns auch in der Form ausdrücken: Das Seil setzt der Bewegung eines Punktes einen Widerstand entgegen, welcher der Geschwindigkeit dieses Punktes proportional ist. Ist der Endpunkt eines Seiles normal zur Seilrichtung frei beweglich, so ist für seine Führung, wie man leicht erkennt, die Hälfte der vorhin berechneten Kraft erforderlich. Wir denken uns nun für den einen oder andern Fall im Punkte P einen Körper mit dem Seil verbunden, auf welchen eine gegen die Ruhelage gerichtete Kraft wirken mag, die proportional zum Abstand von der Ruhelage ist. Ohne das Seil würde also der Körper harmonische Schwingungen ausführen. Als Wirkung des Seiles tritt eine zweite Kraft, ein der Geschwindigkeit proportionaler Widerstand hinzu. Die Schwingungen des Körpers werden jetzt genau den gleichen Gesetzen folgen wie die elastischen Schwingungen bei Berücksichtigung des Luftwiderstandes; es sind gedämpfte Schwingungen. Die Dämpfung wird nach dem Vorhergehenden um so größer, je schwerer das Seil ist (μ) und je größer wir

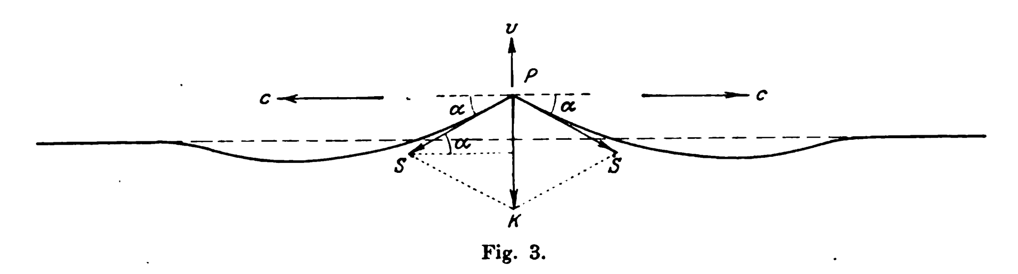


Fig. 3.

durch Vergrößerung der Spannung die Wellengeschwindigkeit c machen. Dieses Verhalten läßt sich leicht durch einen Versuch bestätigen. Ein Stahlstab werde 1 m über dem Boden so festgeklemmt, daß sein Endpunkt in einer horizontalen Geraden schwingen kann. An diesem Endpunkt befestigt man ein etwa 5 m langes Seil. Das andere Ende desselben hält man am Boden durch ein aufgelegtes größeres Gewichtsstück fest. Die letzten 2 m des Seiles sollen am Boden liegen, sodaß die Wellen durch Reibung ausgelöscht werden und keine Störungen durch das Auftreten von reflektierten Wellen vorkommen. Am Endpunkt des Stabes soll die Seilrichtung normal zur Schwingungsrichtung stehen (geeignete Größen sind beispielsweise für den Stab $20\times 4\times 600$ mm und das Seil $\mu = 40\,\frac{\mathrm{gr}}{\mathrm{m}}$). Der Stab wird nach wenigen Schwingungen zur Ruhe kommen. Vergrößert man die schwingende Masse, indem man ein Gewicht am Stabe festschraubt, so kann man die Dämpfung verkleinern. Das Beispiel ist typisch für die Abgabe der Bewegung von einem festen Körper an die Umgebung, wenn in dem Körper Schwingungen erregt und er dann sich selbst überlassen wird. Es ist außerdem ein Analogon für die Emission elektromagnetischer Wellen.

Aus der Größe der Kraft, welche für die Führung eines Seilpunktes nötig ist, läßt sich auch die Größe der Arbeit berechnen, welche zur Erregung einer Welle aufgewendet werden muß. Wir denken uns den Fall, daß der Endpunkt P eines Seiles geführt werde (Fig. 4). Wir betrachten das einzelne Zeitintervall τ, in welchem bei der Erregung die Welle von der Form I in die Form II übergeht. III stelle die Wellenform zu irgend einer späteren Zeit dar. Wir nennen die Geschwindigkeit des



geführten Punktes wieder v. Aus dem Weg $QR = v \cdot \tau$ und der Größe $\mu \cdot c \cdot v$ der zur Führung nötigen Kraft ergibt sich als Teilarbeit $\mu \cdot c \cdot \tau \cdot v^2$ und für die ganze Welle

$$\text{Erregungsarbeit} = \sum_{\tau} (\mu c \tau v^2)$$

Dabei ist die Summation über alle Zeitteilchen während der Erregung zu erstrecken. Jedem Zeitintervall τ während der Erregung entspricht aber ein Element $Q'R'$ von

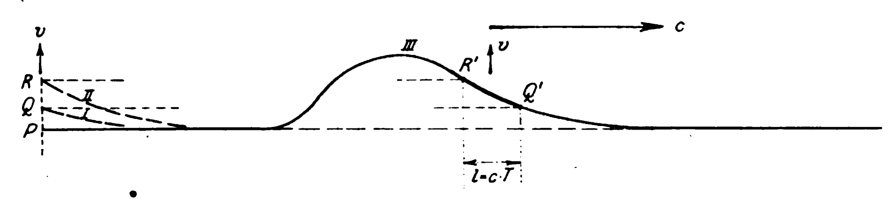


Fig. 4.

der Länge $l = c \cdot \tau$ in der fertigen Welle, welches die gleiche Geschwindigkeit v besitzt, wie P bei der Erregung. Wir können also zur Berechnung unserer Summe auch in der fertigen Welle III summieren und erhalten:

$$\text{Erregungsarbeit} = \sum_{l} (\mu l v^2) = 2 \sum_{l} (1/2\, [\mu l]\, v^2)$$

$1/2\, (\mu \cdot l)\, v^2$ ist die lebendige Kraft des Teilchens $Q'R'$. Das Resultat lautet also

$$\text{Erregungsarbeit} = 2 \times \text{Lebendige Kraft der Welle.}$$

Die aufgewendete Arbeit wird demnach nur zur Hälfte in lebendige Kraft umgesetzt. Die andere Hälfte der zugeführten Energie erscheint bei der Ausbreitung der Welle in der potentiellen Energie, welche das deformierte Seil gegenüber dem ursprünglichen, geradlinigen Zustand besitzt. Beim Energietransport durch fortschreitende Seilwellen treten also die beiden Energieformen stets in gleichem Betrage verbunden auf. Wir haben hier ein Analogon zu den elektromagnetischen Wellen, bei denen die gesamte Energie auch zu gleichen Teilen auf zwei Energieformen verteilt ist.

II. Reflexion und Brechung von Seilwellen.

Ein Seil AB (Fig. 5a) sei im Punkte B befestigt und gegen dieses Ende schreite eine Welle fort. Wir fragen nach dem Vorgang bei Ankunft der Welle in B. Es handelt sich darum, eine Bewegung zu finden, welche den Gesetzen der Mechanik

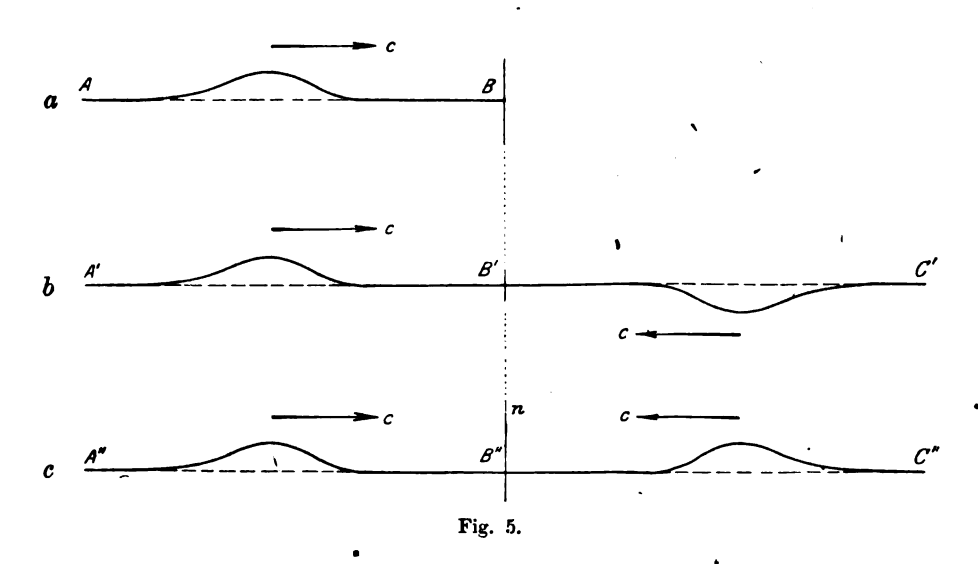


Fig. 5.

entspricht und den Punkt B stets in Ruhe läßt. Zur Konstruktion einer solchen Bewegung denken wir uns ein über B hinausreichendes Seil $A'B'C'$ (Fig. 5b), auf welchem sich zwei in bezug auf B' symmetrische Wellen gegeneinander bewegen. Bei der resultierenden Bewegung bleibt B' in Ruhe. Es ändert sich also nichts, wenn wir B' festhalten. Damit haben wir aber für $A'B'$ eine Bewegung mit allen verlangten Eigenschaften erhalten. Trifft eine Seilwelle auf einen festgehaltenen Punkt, so wird sie also in der Weise reflektiert, daß die zurückkehrende Welle symmetrisch zur ankommenden in bezug auf einen Seilpunkt ist.

Ist der Punkt B normal zur Ruhelage des Seiles frei beweglich, so können an dieser Stelle von der Führung auf das Seil nur Kräfte in der Seilrichtung ausgeübt werden. Die Spannung S, d. h. die Tangentenrichtung des Seiles muß also in B stets parallel zur Ruhelage des Seiles sein. Wir erhalten eine Bewegung mit den verlangten Eigenschaften, wenn wir auf dem Seil $A''B''C''$ (Fig. 5c) zwei in bezug auf n normalsymmetrische Wellen sich gegeneinander bewegen lassen. Die Reflexion an einem frei beweglichen Ende erfolgt also derart, daß die zurückkehrende Welle symmetrisch zur ankommenden in bezug auf eine Normale zur Seilrichtung ist.

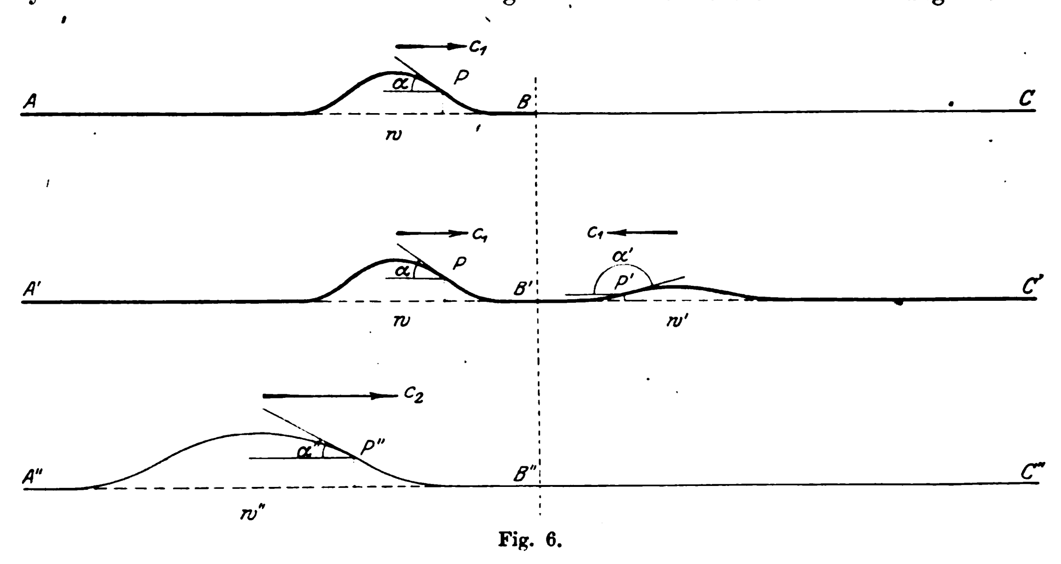


Fig. 6.

Das Seil möge ferner aus zwei verschiedenartigen Stücken AB und BC (Fig. 6) bestehen. Die Spannung ist notwendig in beiden Stücken dieselbe. Wegen der Verschiedenheit der Massen μ_1 und μ_2 pro Längeneinheit besitzen die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten auf beiden Teilen verschiedene Werte c_1 und c_2. Wir wollen ihren Quotienten $n = c_1 : c_2$ den Brechungsexponenten nennen. (In Fig. 6 ist $n = {}^1/_2$ angenommen). Es soll wieder die Bewegung des Seiles gefunden werden, wenn eine fortschreitende Welle auf dem ersten Seilstück erregt wird. Unsere Aufgabe geht dahin, für beide Seilstücke Bewegungen zu finden, welche den gegebenen Anfangsbedingungen entsprechen (auf dem ersten Stück eine gegebene Welle, auf dem zweiten Stück Ruhe), welche die Gesetze der Mechanik erfüllen und welche für den gemeinsamen Punkt B stets die gleiche Verschiebung und die gleiche Tangentenrichtung liefern. Zur Konstruktion derselben denken wir uns zwei über B hinausgehende Seile $A'B'C'$ und $A''B''C''$ (Fig. 6), welche in ihrer Beschaffenheit dem ersten und zweiten Seilstück entsprechen. Zur Beschreibung denken wir uns die Punkte B, B' und B'' als Anfangspunkte von rechtwinkligen Koordinatensystemen mit der Ruhelage der Seile als x Achsen und den Richtungen BC, $B'C'$ und $B''C''$ als positiven Richtungen. Auf dem Seil $A'C'$ mögen sich zwei Wellen mit der Geschwindigkeit c_1 bewegen, die gegebene Welle w in positiver und eine Welle w' in negativer Richtung.



Bedeutet k' eine Konstante, deren Wert wir noch offen lassen, so soll jedem Punkt $P(x, y)$ von w ein Punkt $P'(x' y')$ von w' in der Weise entsprechen, daß

$$5) \qquad x' = -x \qquad y' = y \cdot k'.$$

Dann besteht für die Tangenten der Neigungswinkel der Zusammenhang

$$5') \qquad \operatorname{tg} \alpha' = -k' \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Wir betrachten die Bewegung, welche durch Superposition von w und w' entsteht. Entsprechende Punkte der Wellen w und w' treffen gleichzeitig in B' ein. Ordinate und Tangente des Neigungswinkels von B' sind daher in diesem Augenblick

$$y + y' = y \cdot (1 + k')$$
$$\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha \cdot (1 - k').$$

Auf dem Seil $A'' C''$ bewege sich mit der Geschwindigkeit c_2 eine Welle w'' in positiver Richtung. k'' sei eine zweite Konstante, deren Wert wir ebenfalls offen lassen. Jedem Punkt $P(x y)$ von w soll ein Punkt $P''(x'' y'')$ derart entsprechen, daß

$$6) \qquad x'' = \frac{1}{n} \cdot x \qquad y'' = k'' . y$$

Damit wird

$$6') \qquad \operatorname{tg} a'' = n \cdot k'' \cdot \operatorname{tg} a$$

Bei der Bewegung dieser Welle auf $A'' C''$ trifft der Punkt P'' im gleichen Moment in B'' ein, in welchem P und P' nach B' gelangen. Ordinate und Tangente des Neigungswinkels von B'' sind also für diesen Augenblick durch 6 und 6′ gegeben. Unsere Forderung geht dahin, daß Ordinate und Neigungswinkel der Punkte B' und B'' beständig übereinstimmen. Wir genügen dieser Forderung, wenn wir erreichen können, daß

$$k'' = 1 + k' \qquad n k'' = 1 - k'.$$

Diese Gleichungen lassen sich aber durch entsprechende Wahl der Konstanten k' und k'' stets erfüllen. Sie liefern:

$$7) \qquad k' = \frac{1 - n}{1 + n} \qquad k'' = \frac{2}{1 + n}.$$

Damit haben wir für $A' B'$ und $B'' C''$ Bewegungen gefunden, welche alle Bedingungen erfüllen. Die vollständige Beschreibung des Zusammenhanges zwischen der auftreffenden Welle w, der „reflektierten" Welle w' und der „gebrochenen" Welle w'' wird durch die Gleichungen 5, 6 und 7 gegeben. Die gebrochene Welle ist gleichsinnig affin zur auftreffenden. Ihre Ordinaten haben stets gleiches Vorzeichen wie diejenigen der auftreffenden. Sie sind kleiner als diese, wenn $n > 1$, also das zweite Seil schwerer als das erste, dagegen größer als diese, wenn $n < 1$, also das zweite Seil leichter als das erste ist. Die reflektierte Welle ist ebenfalls affin zur auftreffenden, und zwar gleichsinnig im ersten, ungleichsinnig im zweiten Fall. Dem Betrage nach sind ihre Ordinaten stets kleiner als diejenigen der auftreffenden Welle. Das Vorzeichen der Ordinaten wechselt im ersten Fall ($n > 1$); im zweiten Fall ($n < 1$) bleibt es erhalten. Für $n = 1$ zeigen auch unsere Formeln das selbstverständliche Resultat, daß keine reflektierte Welle auftritt und die gebrochene mit der auftreffenden identisch ist.

Es ist von Interesse, die lebendige Kraft L der auftreffenden Welle mit den lebendigen Kräften L' und L'' der reflektierten und gebrochenen zu vergleichen. Nennen wir die Geschwindigkeit von P v, so werden diejenigen von P' und P'', deren Ordinaten sich in gleichen Zeiten um das k'-fache bzw. k''-fache derjenigen von P ändern

$$v' = v \cdot k' \qquad v'' = v \cdot k''.$$

Ferner folgt aus $n = c_1 : c_2 = \sqrt{\mu_2 : \mu_1}$ $\mu_2 = n^2 \cdot \mu_1$. Berücksichtigt man noch, daß die Längen in der Welle w' gleich wie in w, in der Welle w'' dagegen n-mal kleiner sind, so erhält man:



$$L' = L \cdot k'^2 = L \cdot \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2$$

$$L'' = L \cdot k''^2 \cdot n^2 \cdot \frac{1}{n} = L \cdot \frac{4n}{(1+n)^2}.$$

Diese Ausdrücke liefern

$$2L' + 2L'' = 2L.$$

Die gesamte Energie der reflektierten und der gebrochenen Welle ist also, wie zu erwarten war, gleich groß wie die Energie der auftreffenden Welle. Die Werte

$$[L'] = \left(\frac{1-n}{1+n}\right)^2 \qquad [L''] = \frac{4n}{(1+n)^2}$$

haben für $n = c_1 : c_2$ und $n = c_2 : c_1$ den gleichen Wert. Beim Übergang vom zweiten auf das erste Seil verteilt sich also die Energie in gleicher Weise auf die reflektierte und die gebrochene Welle, wie beim Übergang vom ersten Seil auf das zweite. Eine Übersicht über die Höhen der reflektierten und gebrochenen Wellen (die Werte k' und k'') und ihre Energie im Vergleich zur auftreffenden (die Werte $[L']$ und $[L'']$) gibt die graphische Darstellung Fig. 7. Als Abszisse ist dabei $\log n$ aufgetragen, um die Symmetrie für den Übergang vom ersten zum zweiten und vom zweiten zum ersten Seil besser hervortreten zu lassen. Diesen zwei Übergängen entsprechen reziproke Werte von n.

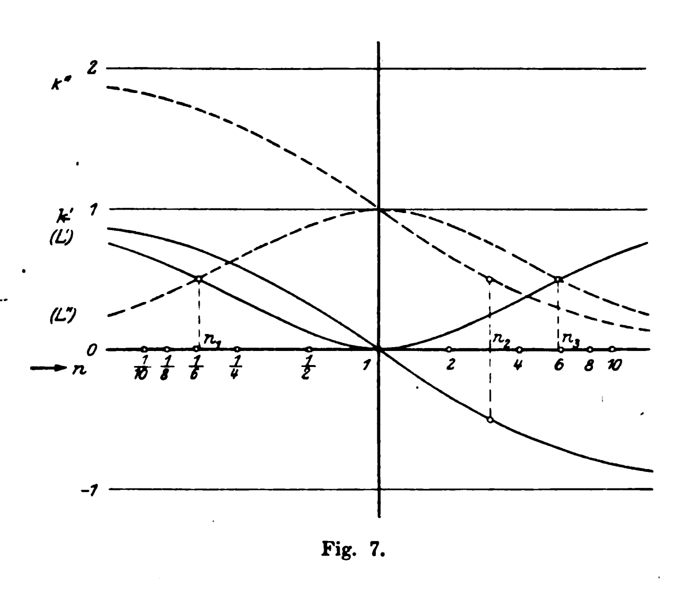


Fig. 7.

Die Erscheinungen der Reflexion bei festem und frei beweglichem Ende lassen sich bekanntlich mit einem weichen Seil oder einem Gummischlauch untersuchen. Auch die Resultate über die Brechung von Wellen lassen sich auf diesem Wege zeigen. Man verwende dazu ein recht langes Seil und binde auf einem Endstück desselben einen $2^1/_2$—3 m langen Gummischlauch fest. Das beschwerte Ende des Seiles hänge man ziemlich hoch an einem festen Punkte auf und lasse beim Versuch das Seil stark durchhängen, da wegen der zu großen Fortpflanzungsgeschwindigkeit andernfalls der Vorgang zu rasch abläuft. Vom leichteren Ende her schicke man hierauf eine Welle, eine Ausbuchtung von gegen 1 m Länge über das Seil weg. Von der Grenzstelle der Stücke her wird eine reflektierte Welle zurückkommen. Die gebrochene Welle bewegt sich auf dem schweren Seilstück bis an den festen Punkt, wird dort reflektiert, kommt zur Grenzstelle zurück und schickt auf das leichtere Seil abermals eine gebrochene Welle. Der Vorgang verläuft natürlich so rasch, daß nicht alle Einzelheiten gleichzeitig erkannt werden können. Am auffälligsten und deshalb am leichtesten zu beobachten ist das Zurückkommen von zwei Wellen auf dem leichten Seilstück. Bei kleinen Unterschieden in der Längendichte beider Seilstücke besitzt die erste dieser Wellen die kleinere Amplitude. Gleiche Amplituden (0,618 von derjenigen der auftreffenden Welle) würden sie bei Abwesenheit von Reibungsverlusten erst für $n = 4{,}236$, also $\mu_2 = 17{,}95\,\mu_1$ annehmen. Doch ist die Erscheinung schon für $\mu_2 = 4\,\mu_1$ deutlich zu beobachten.

Konstruiert man für Reflexion und Brechung durch Superposition der Einzelwellen die Reihe der aufeinanderfolgenden Seilformen, so erhält man Aufschluß über



die Vorgänge während der Reflexion und Brechung selbst, die sich infolge ihres raschen Verlaufes der Beobachtung bei den Versuchen entziehen. Erst derartige Konstruktionen führen zu einem anschaulichen Begreifen der Vorgänge; sie verhindern, daß die gefundenen Ergebnisse einfach „Rechnungsresultate" bleiben. Als Beispiel zeigt Fig. 8 die Hauptformen bei der Reflexion und Brechung an einer Übergangsstelle von einem schweren zu einem leichten Seilstück. Hat die heranrückende Welle statt der Teile des schweren nur noch solche des leichten Seiles zu heben, so erreichen diese Teile viel größere Geschwindigkeiten und der Wellenberg erhebt sich infolgedessen über seine ursprüngliche Höhe hinaus. Dadurch werden alle Krümmungen verstärkt und damit auch die resultierenden Kräfte, welche die einzelnen Seilstücke bewegen. Am rückwärtigen Ende des Wellenberges verzögern die nach außen wirkenden Kräfte die Bewegung der Teilchen nicht mehr nur derart, daß sie in der ursprünglichen Geraden zur Ruhe kommen; sie kehren vielmehr die Bewegungsrichtung der Teilchen um, so daß die ganze Welle hier ihre Bewegungsrichtung ändert. An der Übergangsstelle selbst erreichen die nach innen gerichteten Kräfte den größten Wert und treiben die anliegenden Teile des Seiles rasch gegen die Gerade zurück, so daß eine Einbuchtung die reflektierte und die gebrochene Welle immer mehr voneinander trennt. Wird hier das Seil wieder konkav nach außen, so wirken auch die resultierenden Kräfte wieder nach außen und verzögern die Bewegung derart, daß die Seilstücke in der ursprünglichen Geraden zur Ruhe kommen.

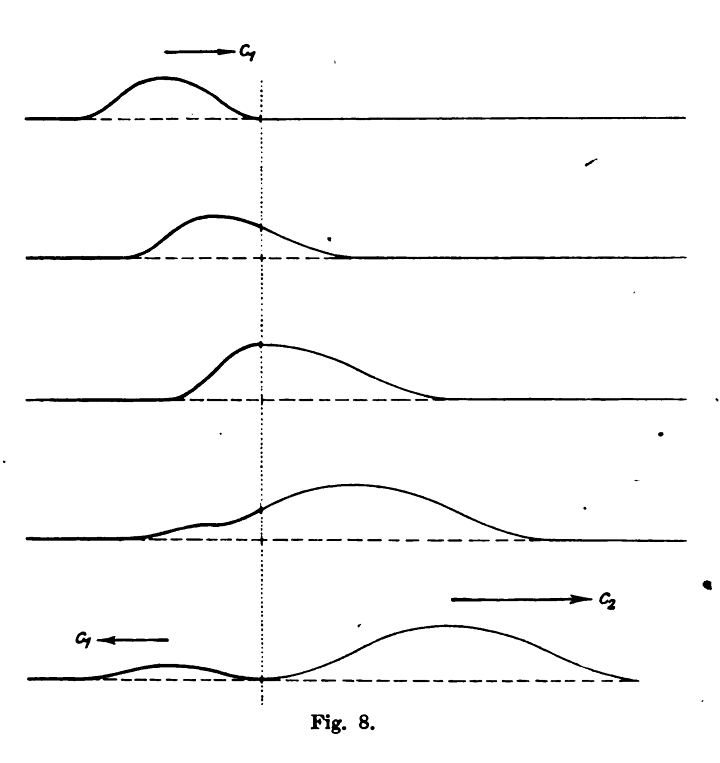


Fig. 8.

III. Longitudinalwellen in Stäben.

Wir gehen von einer Transversalwelle aus, die auf einem Seile von links nach rechts fortschreiten mag (Fig. 9). Die einzelnen Punkte des Seiles bewegen sich dabei in Bahnen normal zur Ruhelage. Lassen wir die Punkte genau die gleiche Bewegung in der Längsrichtung des Seiles ausführen, so daß an Stelle von Verschiebungen nach oben und unten solche nach rechts und links treten, so erhalten wir eine Bewegung, die wir fortschreitende Longitudinalwelle nennen. Wir wollen die ursprüngliche Bewegung die der Longitudinalwelle entsprechende Transversalwelle nennen. Es soll gezeigt werden, daß Longitudinalwellen in elastischen Stäben möglich sind, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit c einen bestimmten, vom Elastizitätskoeffizienten E und der Dichte d (Masse der Volumeneinheit) abhängigen Wert besitzt.

Die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen in der Longitudinalwelle sind genau die gleichen, wie in der entsprechenden Transversalwelle. Wir haben also



nur noch die Kräfte zu untersuchen. Das Teilchen $P_0 Q_0$ mit der ursprünglichen Länge l_0 hat in der Welle eine andere Länge l angenommen, und zwar ist:

$$l = l_0 + PP_0 - QQ_0 = l_0 - (QQ_0 - PP_0) = l_0 - l_0 \operatorname{tg} \alpha.$$

Wir haben also eine Verkürzung um $l_0 \operatorname{tg} \alpha$ oder eine Verkürzung pro Längeneinheit im Betrage $\operatorname{tg} \alpha$. Dieser Verkürzung entspricht beim Querschnitt q ein Druck von der Größe $\operatorname{tg} \alpha \cdot q \cdot E$. Wir betrachten nun wie früher bei der Transversalwelle ein

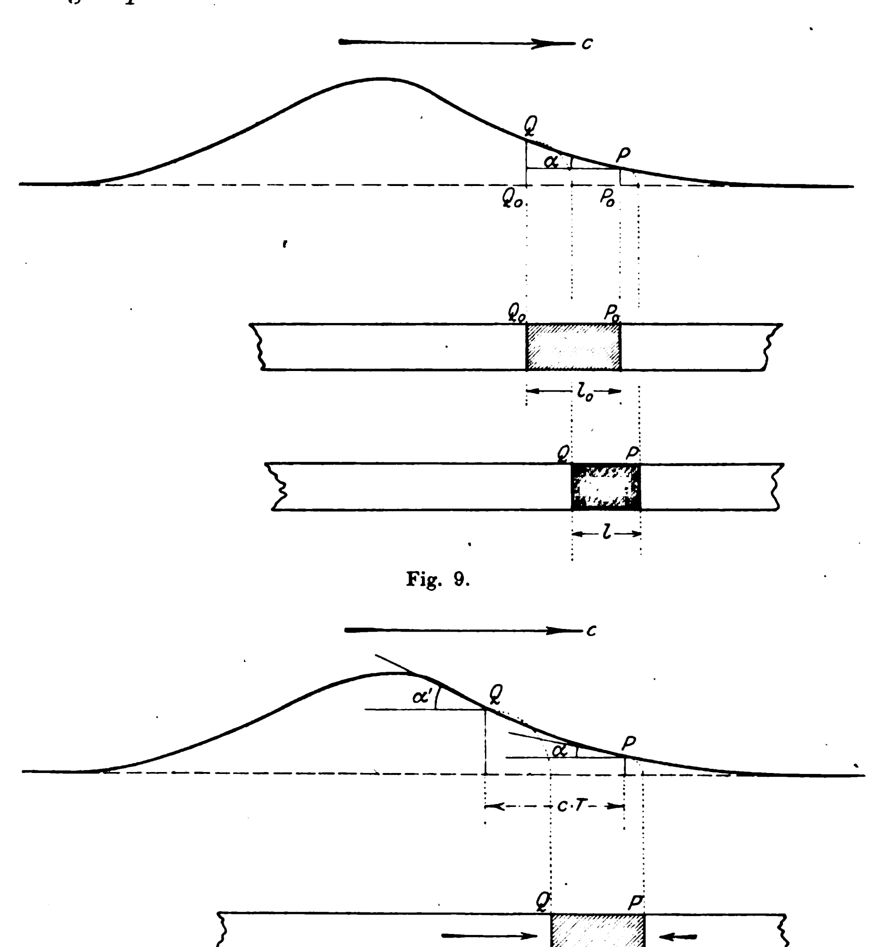


Fig. 9.

Fig. 10.

Teilchen des Stabes, welches im Ruhezustand die Länge $P_0 Q_0 = c \cdot \tau$ besitzt (Fig. 10), wobei τ ein kleines Zeitintervall bedeutet. Die nach rechts positiv gerechnete Resultierende der von den beiden Nachbarteilen ausgeübten Kräfte wird die Größe

$$q \cdot E \cdot (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha)$$

besitzen. Die Masse ist $c \cdot \tau \cdot q \cdot d$, die ebenfalls nach rechts positiv gerechnete Beschleunigung nach früherem $\frac{1}{\tau} \cdot c \cdot (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha)$. Also hat das Produkt Masse mal Beschleunigung den Wert

$$c \tau q \cdot d \cdot \frac{c (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha)}{\tau} = c^2 q d \cdot (\operatorname{tg} \alpha' - \operatorname{tg} \alpha).$$

Dieser Wert ist identisch mit der wirkenden Kraft, wenn $E = c^2 d$ oder

$$c = \sqrt{\frac{E}{d}} \qquad 8)$$

und in diesem Falle ist also die Bewegung in Übereinstimmung mit den Gesetzen der Mechanik.

Die weiteren Entwicklungen über Transversalwellen lassen sich ohne Änderung auf die Longitudinalwellen übertragen. Ebenso können wir zeigen, daß die Reflexion an einem festen oder frei beweglichen Ende in gleicher Weise, wie bei den Transversalwellen erfolgt. Eine Longitudinalwelle möge gegen ein solches Ende fortschreiten. Dann lautet die Grenzbedingung im ersten Fall, daß die Endfläche stets ruhig sei. Im zweiten Fall muß die Kraft $E \cdot q \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0$, also $\alpha = 0$ sein. Für die entsprechende Transversalwelle gibt das die Bedingungen, daß ihr Endpunkt in Ruhe bleibe und daß die Endtangente stets parallel zur Längsrichtung des Seiles stehe. Das sind die gleichen Bedingungen, die wir schon früher betrachtet haben, und daher übertragen sich auch alle Resultate.

Wir betrachten nunmehr das Verhalten einer Longitudinalwelle bei zwei Stäben mit gleicher Längsachse, deren Endflächen in fester Verbindung stehen. Wir werden wie bei den Transversalwellen versuchen, eine den Bedingungen entsprechende Bewegung durch Superposition dreier fortschreitender Wellen zu erhalten. Wir wollen voraussetzen, daß die Querschnitte beider Stäbe q seien. Die Geschwindigkeiten der Wellen auf beiden Stäben seien c_1 und c_2, die Elastizitätskoeffizienten E_1 und E_2, die Dichten d_1 und d_2, so daß $c_1^2 d_1 = E_1$ und $c_2^2 d_2 = E_2$. Wir behalten ferner alle Bezeichnungen bei, die wir beim entsprechenden Problem für Transversalwellen eingeführt haben. Dann bestehen wieder die Gleichungen 5, 5′, 6, 6′; nur bedeuten jetzt y, y', y'' die Verschiebungen der Querschnitte in der Längsrichtung der Stäbe, $\operatorname{tg}\alpha$, $\operatorname{tg}\alpha'$, $\operatorname{tg}\alpha''$ ihre Dehnungen. Für die Grenzfläche müssen die Verschiebungen und die Kräfte in beiden Stäben gleiche Werte haben. Diese beiden Grenzbedingungen sind erfüllt, wenn für zusammengehörige Punkte P, P', P'' (s. Fig. 6)

$$y'' = y + y' \qquad\qquad q E_2 \operatorname{tg}\alpha'' = q E_1 (\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\alpha')$$

das heißt, wenn

$$k'' = 1 + k' \qquad\qquad \left(\frac{c_1 E_2}{c_2 E_1}\right) k'' = 1 - k'.$$

Die beiden Gleichungen unterscheiden sich von den früheren nur dadurch, daß an Stelle von $n = c_1 : c_2$ der Wert

$$n^* = \frac{c_1 E_2}{c_2 E_1} = \frac{d_2 c_2}{d_1 c_1} = \sqrt{\frac{d_2 E_2}{d_1 E_1}}$$

tritt[1]). Es läßt sich also auch hier durch Superposition der drei Wellen eine Bewegung finden, welche allen Bedingungen genügt und die früheren Resultate für k' und k'' (Gleichung 7) bleiben bestehen, wenn man den nur von den Geschwindigkeiten abhängigen Wert n durch n^* ersetzt. Im Gegensatz zu den Transversalwellen hängt die Art, wie sich eine Longitudinalwelle an einer Grenzfläche teilt, nicht nur von den Geschwindigkeiten der Wellen, sondern auch von den Dichten der Körper ab. Daraus erklärt sich, daß Longitudinalwellen von Gasen auf feste Körper und umgekehrt nur unmerklich übergehen, und daß sich Schallwellen durch eine kleine Öffnung in einer Wand viel stärker als durch die Wand selbst fortpflanzen. Sehr deutlich läßt sich dieses Verhalten bei einem Bade beobachten. Die Geräusche, die man wahrnimmt, sind ganz verschieden, wenn sich die Ohren über oder unter der Wasseroberfläche befinden. Über Wasser hören wir nur diejenigen, welche durch die Luft fortgepflanzt werden, unter Wasser nur diejenigen, welche sich in den festen Körpern und dem Wasser ausbreiten. Zur Erläuterung diene folgendes Zahlbeispiel. Für Luft und Wasser setzen wir $c_1 = 341 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ $d_1 = 0{,}001217 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ (Luft von 16° Temperatur, 50% Feuchtigkeit und 760 mm Druck), $c_2 = 1435 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ $d_2 = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$. Dann

[1]) Für verschiedene Querschnitte q_1 und q_2 würde noch der Faktor $q_2 : q_1$ hinzukommen.



liefern unsere Formeln für den Übergang von Luft in Wasser:

$$n^* = 3458 \quad k' = -\frac{1728}{1729} \quad k'' = \frac{1}{1729} \quad L' = \frac{864}{865} \cdot L \quad L'' = \frac{1}{865} \cdot L.$$

Für den Übergang von Wasser in Luft wird:

$$n^* = \frac{1}{3458} \qquad k' = \frac{1728}{1729} \qquad k'' = 1\,\frac{1728}{1729}.$$

Die Ausdrücke für L' und L'' sind die gleichen wie vorhin.

IV. Schwingungen von Saiten.

Auf einem unbegrenzten gespannten Seil möge sich eine periodische Welle nach der einen Seite und eine in bezug auf einen Punkt M_0 dazu symmetrisch nach der andern Seite fortpflanzen (Fig. 11). Dann sind die Wellen im betrachteten Augenblick auch symmetrisch für alle Punkte M_1 M_2 ..... M_1' M_2' ....., welche von M_0 um irgend ein Vielfaches der halben Wellenlänge abstehen. Alle diese Punkte behalten ihre Eigenschaft als Symmetriezentren während der ganzen Bewegung bei, da einer Verschiebung der einen Welle nach rechts eine Verschiebung der andern um die gleiche Strecke nach links entspricht. Infolgedessen sind die Ordinaten beider Wellen in diesen Punkten stets entgegengesetzt. Für die durch Superposition ent-

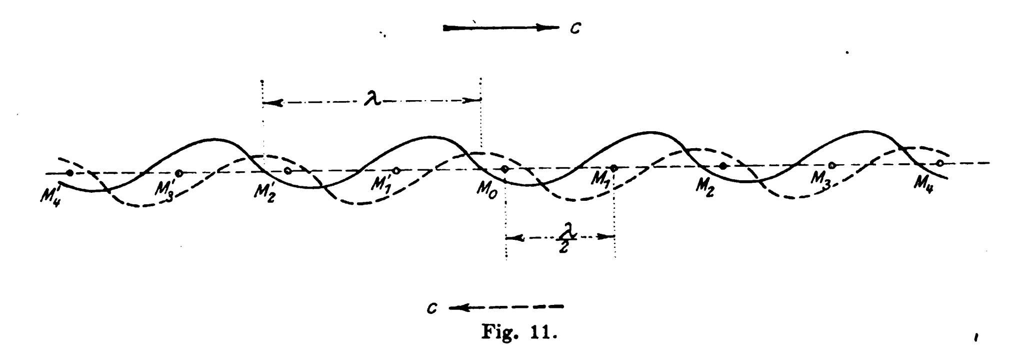


Fig. 11.

stehende Bewegung bleiben die Punkte also in Ruhe. Zwischen zwei Zeitpunkten, die um die Schwingungsdauer T aneinanderliegen, haben sich ferner beide Teilwellen um die Strecke λ verschoben. Die Lage und die Geschwindigkeit der Seilpunkte zu diesen beiden Zeiten ist also für die Teilwellen und daher auch für die zusammengesetzte Bewegung genau dieselbe. Die zusammengesetzte Bewegung ist daher eine periodische mit der Schwingungsdauer T, bei welcher eine Reihe von Punkten in Abständen $\frac{\lambda}{2}$ in Ruhe bleiben. Wir nennen eine Bewegung mit diesen beiden charakteristischen Eigenschaften eine stehende Welle oder Schwingung und die ruhig bleibenden Punkte Knotenpunkte. Da wir durch Wahl der Schwingungsdauer T der Wellenlänge λ jeden beliebigen Wert geben können, sind Schwingungen mit beliebigen Abständen zwischen den Knoten möglich. Da die Knoten in Ruhe bleiben, können wir das Seil an zwei Knotenpunkten festhalten, ohne die Bewegung zu stören. Wir haben damit schwingende Bewegungen eines beiderseits eingespannten Seiles, einer Saite gefunden. Unsere Formeln gestatten uns, die Schwingungszahl n einer solchen Saite zu berechnen, wenn ihre Länge l, die Spannung S, das Gewicht μ pro Längeneinheit und die Zahl der Knoten zwischen den Befestigungsstellen, mit anderen Worten die Zahl k der Abteilungen, in denen die Seite schwingt, gegeben sind. Für die Unbekannten λ, n c liefern die Gleichungen 2) und 4)

$$c = \sqrt{\frac{S}{\mu}} \qquad\qquad c = n \cdot \lambda$$

und ferner ist nach unseren Voraussetzungen

$$l = k \cdot \frac{\lambda}{2}.$$

Daraus folgt

$$n = \frac{c}{\lambda} = \frac{k}{2l}\sqrt{\frac{S}{\mu}}. \tag{9}$$

Setzt man entsprechend Gleichung 8 $c = \sqrt{\frac{E}{d}}$, so erhält man die entsprechende Formel für Longitudinalschwingungen in Stäben.

Besonders einfach wird die Schwingung, welche aus zwei in entgegengesetzter Richtung fortschreitenden, kongruenten Sinuswellen entsteht. Bei ihr werden die periodischen Bewegungen aller Punkte harmonische Schwingungen, deren Phasen übereinstimmen. Infolgedessen gehen alle Teile gleichzeitig durch die Ruhelage und die Saite ist in diesem Augenblick geradlinig. Ferner erreichen die schwingenden Punkte gleichzeitig ihre größten Entfernungen von der Ruhelage, und die Saite ist in diesem Augenblick als Ganzes in Ruhe. Schwingungen dieser Art nennen wir bei Saiten und auch anderen schwingenden Systemen „einfache Schwingungen". Oft werden „einfache Schwingungen" und „Schwingungen" nicht klar auseinandergehalten und es entsteht der Eindruck, als ob bei Naturvorgängen einfache Schwingungen vorherrschen. Doch ist gerade das Gegenteil richtig. Man bewahrt die Schüler vor unrichtigen Vorstellungen, wenn man von Anfang an für eine unsymmetrische Form der erzeugenden Welle die zugehörigen Formen der schwingenden Saite konstruieren läßt [1]). Auch die Konstruktion der Seilformen, wenn die Schwingung aus Grundton und erstem Oberton bei verschiedenen Phasendifferenzen besteht, kann diesem Zwecke dienen. Man darf sich dabei aber nicht auf die Konstruktion einer einzelnen Form der Saite beschränken, sondern muß die Bewegung während einer halben Schwingung verfolgen. Ich möchte vor einer zu frühzeitigen Beschränkung auf Sinuswellen warnen, weil sonst leicht einseitige Vorstellungen über den Begriff eines periodischen Vorganges entstehen. die sich später schwer ausrotten lassen. Wichtig wird die Zusammensetzung einer Schwingung aus einfachen Schwingungen erst bei Betrachtung von Resonanzerscheinungen, z. B. bei der Helmholtzschen Theorie der Analyse von Klängen durch das Ohr. Daß eine Saite unendlich viele Schwingungsformen bei gleicher Schwingungszahl besitzen, daß also die Klangfarbe bei gleicher Tonhöhe verschieden sein kann, ist aus unseren Konstruktionen auch ohne Erwähnung der einfachen Schwingungen ersichtlich,

Wir haben bisher nur die Möglichkeit schwingender Bewegungen auf Saiten, ihre Übereinstimmung mit den Gesetzen der Mechanik nachgewiesen. Wirklich hervorrufen lassen sich solche Bewegungen in der Weise, daß wir das eine Ende einer Saite einspannen und das andere einige Zeit irgendwie bewegen und nachher festhalten. Wegen der aufeinander folgenden Reflexionen ist die Bewegung des Seiles von diesem Augenblick an Resultierende aus zwei entgegengesetzt verlaufenden, periodischen, kongruenten Wellen, wie wir sie zu Anfang des Abschnittes betrachtet haben. Eine andere Form der Erregung besteht darin, daß wir die Saite aus ihrer Ruhelage bringen und loslassen oder daß wir ihren Punkten Anfangsgeschwindigkeiten erteilen. Die nähere Untersuchung dieser beiden Erregungsarten wird uns auch eine Frage beantworten, die wir bisher offen gelassen haben. Wir haben noch nicht gezeigt, daß bei jeder Anfangslage und jeder Verteilung der Anfangsgeschwindigkeiten auf einer an zwei Punkten eingespannten Saite wirklich immer Schwingungen auftreten. Ferner steht, auch wenn Schwingungen vorkommen sollten, nicht zum vorneherein fest, daß sich dieselben durch Superposition gegeneinanderlaufender, periodischer, fortschreitender Wellen darstellen lassen und dies also für die Schwingungs-

[1]) Vergl. Fr. Poske, Oberstufe der Naturlehre. Fig. 216.



zahl n die abgeleitete Formel 9 gilt. Wir können diese Lücke in unseren Betrachtungen ausfüllen, wenn wir voraussetzen dürfen, daß zu gegebener Anfangslage und gegebenen Anfangsgeschwindigkeiten ein eindeutig bestimmter Verlauf der Bewegung gehöre.

A und B (Fig. 12) mögen die Endpunkte der Saite sein; die Kurve k_1 gebe die Anfangslage an. Wir konstruieren eine dazu affine Kurve k_1' mit halb so großen Ordinaten, die wir auf gedachten Verlängerungen der Saite punktsymmetrisch zu A und B fortsetzen. Diese Kurve besitzt dann die Punkte $A\,B\,C\,D \ldots .\ C'\,D' \ldots .$ zu Symmetriezentren. Lassen wir zwei Wellen, beide von der Form k_1', mit der gezeichneten Lage als Anfangslage in entgegengesetztem Sinn sich bewegen, so erhalten wir eine stehende Welle, für welche unsere Formel die Schwingungszahl liefert. Dieselbe ergibt zu Beginn der Bewegung die verlangte Anfangslage der Seite, aber für alle Punkte die Anfangsgeschwindigkeit 0.

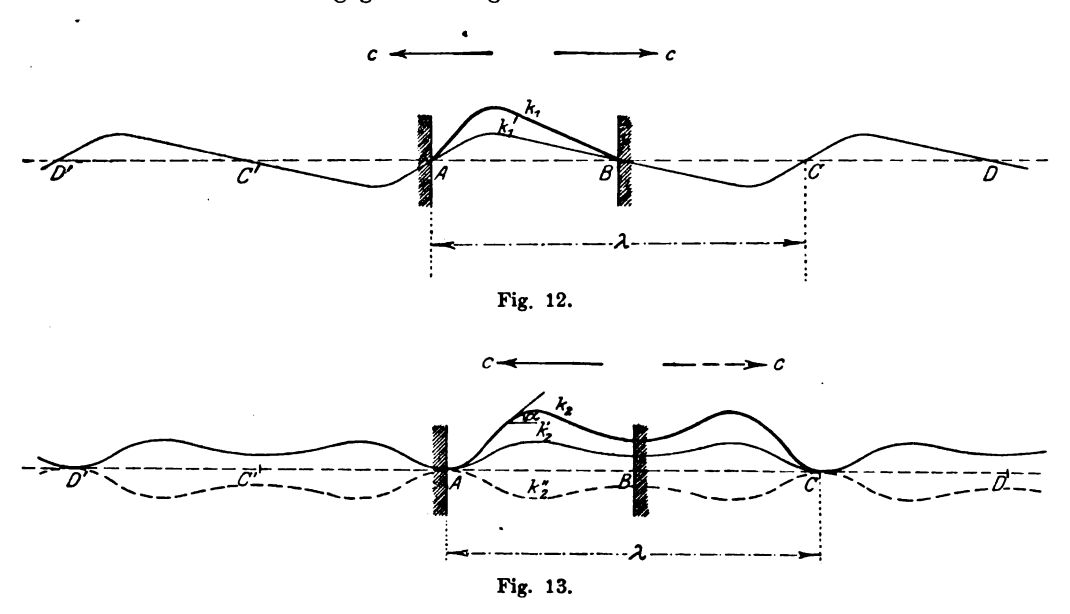


Fig. 12.

Fig. 13.

Es sei v die gegebene Anfangsgeschwindigkeit für eine Stelle zwischen A und B (Fig 13) und $c = \sqrt{\frac{S}{\mu}}$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf unserer Seite. Dann konstruieren wir zwischen A und B von A aus eine Kurve k_2, bei welcher an jeder Stelle $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c}$ (also im wesentlichen die Integralkurve der Anfangsgeschwindigkeiten). Da die Anfangsgeschwindigkeiten in A und B den Wert 0 besitzen, hat die Kurve in A und B horizontale Tangenten. Wir ergänzen sie über B hinaus durch den symmetrischen Zweig BC. k_2' mag die affine Kurve zu k_2 mit halb so großen Ordinaten sein, die wir nach beiden Seiten periodisch fortsetzen. k_2'' sei die axialsymmetrische Kurve zu k_2'. k_2' und k_2'' sind dann punktsymmetrisch in Bezug auf alle Punkte $A\,B\,C\,D \ldots .\ C'\,D' \ldots .$ Bewegt sich die Welle k_2' mit der Geschwindigkait c nach links, k_2'' mit der gleichen Geschwindigkeit nach rechts, so entsteht durch Superposition eine Schwingung von gleicher Schwingungszahl wie im vorhergehenden Fall, da Geschwindigkeit und Wellenlänge den gleichen Wert haben. Zu Beginn der Bewegung sind alle Ordinaten 0 und alle Geschwindigkeiten haben die verlangten Anfangswerte. Setzen wir die beiden Schwingungen zusammen, die wir erhalten haben, so ergibt sich eine resultierende Schwingung, welche alle Anfangsbedingungen erfüllt. Dieselbe läßt sich ferner nach unserer Ableitung durch zwei fortschreitende

periodische Wellen von entgegengesetzter Bewegungsrichtung darstellen, so daß die Schwingungszahl durch Gleichung 9 bestimmt ist; dabei wird im allgemeinen $k = 1$ sein. Diese Betrachtungen lassen sich nicht nur für die an zwei Punkten eingespannte Saite durchführen. Auch für ein beiderseits unbegrenztes Seil findet man auf diesem Wege die zu beliebigen Anfangsbedingungen gehörende Bewegung.

Wir haben mit unseren einfachen Hilfsmitteln sehr allgemeine Integrale der Differentialgleichung

$$\frac{\delta^2 y}{\delta t^2} = a \cdot \frac{\delta^2 y}{\delta x^2}$$

der schwingenden Saite erhalten. Daß wir nicht weiter gelangen können und namentlich den Beweis der Eindeutigkeit der Lösungen schuldig bleiben müssen, hat einen tieferen Grund. Wir machten nur von dem Begriff des Differentialquotienten Gebrauch. Wir untersuchten gegebene Bewegungen, schlossen von den Bewegungen auf die Beschleunigungen und wiesen nach, daß die Grundgesetze der Mechanik erfüllt seien. Wir zeigten mit anderen Worten für gegebene Bewegungen durch Nachrechnen, daß die Differentialgleichung erfüllt sei. Der Nachweis der Eindeutigkeit der Lösung verlangt nun aber notwendig den Schluß von den Beschleunigungen auf die Bewegungen, von den Differentialquotienten auf die Funktionen, und dieser Schluß ist nur möglich unter Verwendung des Mittelwertsatzes der Differentialrechnung oder eines gleichwertigen Satzes.

Elementare Einführung in die Dissoziationstheorie.

Von **R. Winderlich** in Oldenburg i. O.

Herr Prof. Dr. Alfred Stock[1]) hat in seinem dankenswerten Berliner Vortrag „Der Chemieunterricht an den höheren Schulen" gefordert, die analytische Chemie, die elektrolytische Dissoziationstheorie, die Wernersche Theorie, die Radiochemie u. dgl. aus der Schule zu verbannen. „Eine wahrhaft wissenschaftliche Behandlung solcher Dinge ist dort nicht möglich, und eine andere Behandlung erzieht die Schüler zur Oberflächlichkeit[2])."

Hiergegen ist hinsichtlich der Dissoziationstheorie mancherlei einzuwenden. Weder die Physik noch die Chemie kann diese Theorie entbehren: in der Physik bleibt die Elektrolyse mit ihren Gesetzen ohne die Theorie ein ungelöstes Rätsel, und im chemischen Unterricht wird dem Verständnis und dem Gedächtnis ohne die aufklärende, vereinfachende Theorie eine unnütze, schwere Arbeit zugemutet. Es ist allerdings zuzugeben, daß die übliche, streng wissenschaftliche Durchnahme der Dissoziationstheorie erst am Schlusse der Schulzeit nach dem Kennenlernen der zahlreichen Einzeltatsachen bei den Schülern volles Verständnis finden kann. So bleibt für die voraufgehende Zeit anscheinend nur die bange Wahl zwischen Verzicht und Oberflächlichkeit. Auf der Naturforscherversammlung in Münster hat jedoch Jungbluth (Bonn) schon einmal darauf hingewiesen, daß es möglich ist, die Schüler frühzeitig auf einfache, schlichte Weise in die wesentlichsten Teile der Theorie einzuführen[3]). Jungbluth hat nicht viel Gegenliebe gefunden. So lehnt z. B. Doermer den Vorschlag ab, „weil die zwingende Übereinstimmung zwischen den aus den osmotischen Erscheinungen (Gefrierpunktserniedrigung) und der Leitfähigkeit ermittelten Werten bei den Elektrolyten in keiner Weise zum Ausdruck kommt. Auch dadurch, daß bei der historischen Einführung der Begriffe Elektrolyt und Nichtelektrolyt die Methoden der

[1]) Man sehe den Bericht *in dieser Zeitschrift 1919, Heft 2, S. 62.*

[2]) Zeitschr. f. angew. Chemie (1918) **31**, I, 201. Wiederabdruck in „Naturwissenschaftliche Monatshefte" (1919) **1**, 30.

[3]) Monatshefte f. d. naturw. Unterr. **5** (1912), 539.

Molekulargewichtsbestimmung und die Erweiterung der Gasgesetze auf die Lösungen nach van't Hoff im großen Zusammenhang herausgearbeitet werden können, steht sie meines Erachtens über der vom Verfasser vorgeschlagenen Methode der Einführung [1])." Hier liegt der Kern der Sache: man glaubt auch bei der ersten Einführung nicht auszukommen ohne die von Doermer erwähnten Erscheinungen, Gesetze und Methoden; und diese sind es vermutlich, die Stock wegen der unzweifelhaft übertriebenen Benutzung durch manche Schulmänner [2]) als nicht zur Schule gehörig bezeichnen möchte. Es ist nur die Frage, ob dieser Ausschluß auch einen Verzicht auf die Dissoziationstheorie bedingt, ob diese nicht trotzdem, zunächst in einfacherer Form, eingeführt und benutzt werden kann, und ob es nicht genügt, sie erst gegen Ende der Schulzeit, wenn die Summe der bekannt gewordenen Tatsachen dazu drängt, tiefer zu begründen. Es wird einem Lehrer schwer werden, diesem Zwange der Tatsachen nicht nachzugeben und den Unterricht nicht in die wundervoll aufhellende, geradezu erlösend wirkende Theorie der Lösungen münden zu lassen. Herr Stock wird sich gewiß nicht ablehnend verhalten, wenn er sicher sein kann, daß nur solche Theorien mit den Schülern durchgearbeitet werden, die aus dem Tatsächlichen des Unterrichts erwachsen. Stehen die Theorien am Anfang, wie es nach manchen rein systematischen Lehrbüchern der Fall zu sein scheint, aber nur scheint, denn die Bücher spiegeln nicht den lebendigen Unterricht wieder, so hat Stock recht mit der Ablehnung; ergeben sich die Theorien hingegen mit einer Art Naturnotwendigkeit aus den bekannt gewordenen Tatsachen, so wird niemand im Ernst dafür eintreten, daß der Kopf fehlen solle, daß der Rumpf alleine schon genüge. Dies gilt auch von manchen anderen Gebieten, die von Stock abgelehnt werden. Im letzten Grunde muß es der Lehrer selbst entscheiden, wie weit er seine Schüler führen kann. Es bleibt nur die Frage, wann die einzelnen Theorien eingeführt werden können, ob sie so früh eingeführt werden können, daß sie auch im Schulunterricht noch arbeitsfördernd und arbeitserleichternd zu wirken vermögen. Für die Dissoziationstheorie ist eine frühe Einführung, wie hier erneut betont werden muß, sehr wohl möglich.

Es ist nicht unnütz nochmals hervorzuheben, daß die Dissoziationstheorie auf zwei Grundannahmen ruht: einer chemischen, des Zerfalls der Molekel in zwei gesondert reagierende Bestandteile, und einer physikalischen, der elektrischen Ladung dieser Bestandteile. So betrachtet zeigt sich, daß der gewöhnlich beliebte Weg zur Einführung, der auch nach Jungbluths Ansicht der geschichtliche Weg sein soll, der wahren Entwicklung gar nicht entspricht. Es ist schon sehr lange bekannt, daß die salzartigen Stoffe stets ein doppeltes Verhalten zeigen, stets zwei Arten von Reaktionen geben. In der ersten wissenschaftlichen Namengebung (*Méthode de Nomenclature Chimique* durch Morveau, Lavoisier, Fourcroy, Berthollet) wurde diese Tatsache auch sprachlich kenntlich gemacht. Berthollet ging noch einen Schritt weiter: wir verdanken ihm „den wichtigen Satz, daß der Austausch von Säuren und Basen zwischen zwei Salzen allemal stattfindet, wenn die durch den Austausch entstehenden Salze, oder eins von ihnen, eine geringere Auflöslichkeit haben als die gegebenen Salze". Gay-Lussac fand diesen Satz fruchtbar, aber unbefriedigend, denn die geringere Auflöslichkeit „bewirkt nicht den Austausch als erste Ursache. Sie macht ihn nur merklich" [3]). Es „muß der Austausch durchaus vorhergehen". Nach Gay-Lussacs Grundsatz von der Indifferenz der Vertauschung müssen die Salze im Augenblicke des Zusammengießens **gespalten** werden, so daß sich die Teile wechselweise zu neuen Verbindungen zusammenordnen können. Darin liegt ein Grundgedanke der Dissoziationstheorie verborgen. Das wird über der Bedeutung der erwähnten Untersuchungen für die Gesetze

[1]) Jahresberichte über das höhere Schulwesen (1912) 27, XIII, 101.

[2]) Vgl. z. B. Beilage zum Jahresbericht der ORS. zu Zeitz, Ostern 1911: Mähler, „Physikalisch-chemische Übungen" S. 26 ff.

[3]) Journal f. prakt. Chemie (1839) 18, 193–214. „Über die chemischen Kräfte."



der Massenwirkung gewöhnlich vergessen. Gay-Lussac hat auch auf „die Analogie zwischen der Auflösung und der Verdampfung" hingewiesen. Er nahm an, „daß die Auflösung gleichfalls von der Kohäsion unabhängig ist[1])".

Von jeher hat das Lösen eine große Rolle in den Gedanken und Arbeiten der Chemiker gespielt, was deutlich genug durch den alten Satz „corpora non agunt nisi fluida" ausgedrückt ist. Heinrich Rose hat sich jahrzehntelang mit dem wichtigsten Lösungsmittel, mit dem „Einfluß des Wassers bei chemischen Zersetzungen" beschäftigt. Er hat dabei nicht nur Beiträge für die Massenwirkung geliefert und die experimentelle Grundlage für unsere Ansichten von der Hydrolyse geschaffen, deren Erscheinungen auch Schülern nicht unbekannt bleiben können, er hat auch das Wesen der Hydrolyse klar erkannt. Auf die Angriffe Laurents antwortete er: „Es kam mir im allgemeinen nur darauf an, den Einfluß des Wassers bei chemischen Zersetzungen und namentlich der Zersetzung der Salzauflösungen nachzuweisen. Bisher hatte man nämlich das Gesetz, daß, wenn zwei neutrale Salze in ihren wässerigen Auflösungen einander zersetzen, die Neutralität der entstandenen Salze beibehalten wird, in seiner Allgemeinheit nicht bestritten, und niemand hatte darauf aufmerksam gemacht, daß jenes Gesetz nur dann richtig sei, wenn die Säuren und die Basen der sich zersetzenden Salze zu den starken gehören[2])." Er kommt zu dem Ergebnis: „Verbindet sich eine schwache Base mit einer starken Säure oder eine starke Base mit einer schwachen Säure, so werden im ersten Falle die basischen Eigenschaften der Verbindung nicht vollständig, sondern nur zum Teil vernichtet[3])." Als schlagendes Beispiel, das auch für den Schulunterricht geeignet ist, führte er die zunächst verblüffende Tatsache an, daß neutrales Silbernitrat mit dem alkalisch reagierenden Dinatriumphosphat außer dem gelben Niederschlag von Silberphosphat eine saure Flüssigkeit gibt.

Wie anders sollen diese altbekannten Tatsachen den Schülern „erklärt" werden, wenn sie nichts davon hören dürfen, daß die Molekeln durch den Einfluß des Wassers gespalten werden? Ist es nicht notwendig klarzustellen, was eine starke, was eine schwache Säure ist, wenn man diese unvermeidbaren Ausdrücke anwendet?

Die Grundtatsachen für den elektrischen Teil der Theorie sind ebenfalls ein Jahrhundert alt. Bereits 1805 sprach Grotthuss von positiven und negativen Bestandteilen der Wassermolekeln, um die Elektrolyse zu erklären. Berzelius und Hisinger, Davy, Faraday haben dann mit ihren Arbeiten den Boden bereitet, auf dem sicher weiter gebaut werden konnte. Die Gesetze der Elektrolyse mußten notwendig zu der Frage führen, ob der Zerfall durch den Strom bewirkt wird, oder ob er dem Stromdurchgang vorhergeht und ihn erst ermöglicht. Die chemischen Umsetzungen hätten für die zweite Vermutung sprechen können im Zusammenhang mit der physikalischen Tatsache, daß destilliertes Wasser und die wasserfreien Salze in festem Zustande fast völlige Nichtleiter sind. Seit 1857 verfocht Clausius[4]) die Annahme des vorhergehenden Zerfalls. Nach ihm müssen die Salzmolekeln bereits durch das Lösen gespalten sein, weil schon ganz geringe Ströme eine Zersetzung bewirken. Damit war eigentlich die Dissoziationstheorie in ihren Grundzügen geschaffen, denn mit dem Begriff „Zerfall" trat auch das Wort „Dissoziation" auf, als Arrhenius noch ein Knabe war. Clausius, Hittorf, Helmholtz standen mit ihren Gedanken keineswegs allein; Sätze wie der, „daß das Leitvermögen der Flüssigkeiten mit der Temperatur zunimmt, könnte im Zusammenhang stehen mit ihrer steigenden Dissoziation. Solche, die gar nicht leiten, würden dann bei der gegebenen Temperatur noch gar nicht in Dissoziation begriffen sein[5])", beweisen zur Genüge, daß zum Verständnis der Grundgedanken der Dissoziation — zum Verständnis, nicht zum Beweise! — die klassischen Untersuchungen

[1]) A. a. O., 207.
[2]) Pogg. Ann. (1852) **87**, 598 Anmerk.
[3]) Pogg. Ann. (1855) **96**, 195.
[4]) Pogg. Ann. **101**. „Über die Elektrizitätsleitung in Elektrolyten."
[5]) Pfaundler, „Beiträge zur chemischen Statik." Pogg. Ann. (1867) **131**, 85.

PFEFFERS, VAN'T HOFFS, RAOULTS usw. durchaus nicht notwendig sind. Erst beim Verfolg der Theorie in alle Einzelheiten ihrer Anwendbarkeit, erst bei einem wissenschaftlichen Vertiefen in ihren Gedankenreichtum treten die angedeuteten einfachen Erscheinungen bis fast zum Verschwinden zurück vor den Ergebnissen sorgfältigster, exaktester Messungen der physikalischen Chemie.

Nach diesem kurzen geschichtlichen Rückblick läßt sich leicht ein Lehrgang zur Einführung in die Ionentheorie ausgestalten. Von der Unterstufe her ist den Schülern geläufig, daß eine Säure eine Wasserstoffverbindung ist, die in wässeriger Lösung sauer schmeckt, blauen Lackmusfarbstoff rot färbt und mit Magnesium zusammengebracht Wasserstoff entwickelt. Es ist ferner bekannt, daß eine Säure erhalten werden kann, wenn man zu einem Salz der gewünschten Säure eine schwerer flüchtige Säure hinzusetzt. Auch einige Umsetzungen zwischen gelösten Salzen sind nicht mehr fremd. Hieran läßt sich anknüpfen. Ist die Säure nicht in wässeriger Lösung, so färbt sie Lackmus nicht um (Versuche mit trockener Weinsäure, Oxalsäure, alkoholischer Lösung der Weinsäure, trocknem Chlorwasserstoffgas und gepulvertem Lackmusfarbstoff), erst durch Hinzufügen von Wasser tritt die Wirkung ein. Ist die Säure nicht in wässeriger Lösung, so wirkt sie nicht auf Karbonate (Versuche mit trockenem Natriumbikarbonat oder Calciumkarbonatpulver und trockener Weinsäure, dgl. mit Eisessig; Hinweis auf Brausepulver und Backpulver). Ein Einfluß des Wassers auf chemische Vorgänge ist ganz unverkennbar. Ein Kupfervitriolkristall wird entwässert, er wird weiß; mit Kaliumferrocyanid gemischt gibt das weiße oder bläulichweiße Pulver keine bemerkbare Veränderung, durch einen einzigen Tropfen Wasser tritt sofort Rotfärbung auf. Eine Mischung von gelöschtem Kalk und Phenolphthaleïnpulver ist weiß, ein Tröpfchen Wasser ruft die alkalische Rotfärbung hervor. Die Beispiele lassen sich noch weiter vermehren.

Bei denkenden Schülern regt sich nach diesen Versuchen die Frage: woher rührt dieser Einfluß des Wassers? Es gibt stets genug junge Leute, die sich nicht begnügen mit dem einfachen Beschreiben, die vielmehr weiter wollen zu einem Erklären. Da greift man unter Benutzung einiger Reaktionen zurück zu der Angabe, wie BERTHOLLET eine Salzumsetzung erklärte, und wie GAY-LUSSAC in dieser Erklärung nichts anderes sah als eine neue Umschreibung der Tatsachen, denn die Unlöslichkeit „bewirkt nicht den Austausch als erste Ursache. Sie macht ihn nur bemerklich." BERTHOLLETS Schema wäre: b_1s_1 und b_2s_2 liefern b_1s_2 und b_2s_1, wenn eine der beiden Verbindungen unlöslich ist. Dies Schema gründet sich auf die Doppelnatur der Salze, die auch in den Namen zum Ausdruck kommt: Kalium sulfat, Kupfer sulfat, Barium sulfat, Kalium nitrat, Kalium chlorid, Kalium chlorat, Kalium karbonat. GAY-LUSSAC hat offenbar recht, die Erklärung BERTHOLLETS befriedigt nicht, denn sein Schema setzt voraus, daß die Verbindungen b_1s_1 und b_2s_2 zerrissen werden müssen, bevor sich b_1s_2 und b_2s_1 bilden können. Also — darauf verfallen nach dem Gesagten und Gezeigten nicht wenige Schüler — besteht der Einfluß des Wassers auf die chemischen Vorgänge wahrscheinlich darin, daß es die Molekeln zerreißt, daß es jede Molekel anscheinend in zwei Teile zerlegt.

Scheinbar werden die Gedankengänge hier abgebrochen. Es folgt der Versuch, welcher den ungeheuren elektrischen Widerstand ganz reinen Wassers zeigt. Selbst nach Ausschalten aller Widerstände vermag es der Strom des Straßennetzes nicht, in dem sauberen HOFMANNschen Zersetzungsrohr das destillierte Wasser wahrnehmbar zu zerlegen. Ebensowenig zeigt ein hochempfindliches Galvanometer einen deutlichen Ausschlag, wenn in den Stromkreis an Stelle der Zersetzungszelle ein Würfel aus Steinsalz eingeschaltet wird[1]). Wird hingegen etwas Salz in das destillierte Wasser des HOFMANN-Rohres geworfen, so setzt alsbald eine Gasentwicklung an den Elektroden ein. Auch hier zeigt sich ein Einfluß des Wassers. Alsdann wird eine

[1]) Vgl. Zeitschr. f. phys.-chem. Unterr. (1915) 28, 86, 94.

Lösung von Zinkchlorid in einem weiten U-Rohr durch den Strom zerlegt; an den Polen tritt Zink und Chlor auf. Eine Kochsalzlösung, die mit Lackmus und einer Spur Säure rot gefärbt ist, wird in drei große Bechergläser verteilt, die durch eingehängte, mit Salzwasser gefüllte U-Röhren verbunden sind. In die beiden äußeren Gläser tauchen die Elektroden (Anode Kohlestab, Kathode Platinblech, Strom des Straßennetzes); nach kurzer Zeit ist die Anodenflüssigkeit entfärbt, die Kathodenflüssigkeit blau, das mittlere Glas bleibt rot, die U-Röhren werden heiß, so heiß, daß zuweilen, wenn das Wasser viel Luft gelöst enthielt, am Rande der bald auftretenden Luftblasen in den U-Röhren kleine Funken zu sehen sind. Endlich wird der Versuch nochmals mit Glaubersalzlösung und Blaukrautabkochung (Rotkohl) wiederholt; die Anodenflüssigkeit wird rot, die Kathodenflüssigkeit grün, das mittlere Gefäß bleibt blau, und die U-Röhren werden heiß. Hieraus folgern die Schüler von selbst, daß die Salzbestandteile, die an weit voneinander entfernten Stellen ausgeschieden werden, gewandert sind (Ionen), und daß die Wanderer in den Engpässen der U-Röhren durch ihr Gedränge, durch ihre Reibung die Hitze hervorgerufen haben. Die Schüler sehen auch leicht ein, daß nicht Zink oder Natrium als Metall gewandert sein kann, ebensowenig wie Chlor als solches oder SO_4. Sie glauben sehr leicht der Erklärung, daß die Teilchen geladen sind, sie glauben, daß elektrisch geladenes Zink farblos, überhaupt gänzlich verschieden ist von metallischem Zink usw. Ich sage absichtlich, sie glauben sehr leicht, denn sie sind befriedigt, daß eine schwierige Frage für sie zum vorläufigen Abschluß gebracht worden ist. In einem gedeihlichen Unterricht werden sie schon früh genug wieder aufgerüttelt, so daß sie hungrig werden nach strengeren Beweisen.

Ist der Unterricht bis zu dem angegebenen Punkte vorgedrungen, dann wird manches sonst Unverständliche verständlich: der Unterschied im Verhalten der Chloride und Chlorate gegen Silberlösungen — Ferrosalze, Ferrisalze, Eisenkomplexsalze —, hydrolytische Erscheinungen — die Übersicht über das Gebiet der Salze wird außerordentlich vereinfacht —; die Neutralisationswärme starker Säuren und Basen findet ihre Erklärung usw.

Diese Einführung mag von strengen Beurteilern als gänzlich unwissenschaftlich verworfen werden, sie hat aber den Vorzug der Einfachheit und Leichtfaßlichkeit, ohne daß sie irgendwo etwas geradezu Falsches verwendet. Sie schließt sich eng an den Verlauf der Vorgeschichte der Theorie an, befleißigt sich der von Stock gewünschten „weisen Beschränkung" und bereitet ein gründliches Eingehen auf die Theorie der Lösungen in der Oberstufe vor.

Kleine Mitteilungen.

Rasche Schätzung des Brechungsexponenten eines gleichschenkelig rechtwinkeligen Glasprismas auf zwei Dezimalstellen.

Von Prof. **Joh. Kleiber** in München.

1. Verfahren. Man lege, wie Fig. 1 zeigt, das Prisma mit einer Kathetenfläche an das Ende eines Maßstabes M; dann sieht man, von oben her durch die andere Kathetenfläche blickend, den Maßstab M an der Hypotenusenfläche gespiegelt; sein Spiegelbild M' erscheint als ein zweiter Maßstab, der auf dem ersten senkrecht steht. Blickt man, wie die Figur andeutet, schräg darauf, so sieht man wie sich über das Spiegelbild M' von einer Grenzlinie G an ein dunkler Schatten legt. G ist die Grenzlinie der totalen Reflexion..

Hat man nun vorher mit etwas Klebwachs an dem Maßstabstrich 10 cm (über dem unteren Ende des Maßstabes) eine Nähnadel N so befestigt, daß sie etwas über den Maßstab M vorragt, so sind alle Vorbereitungen für die Schätzung getroffen.

Man blickt nun so über die Nadel N gegen das Prisma, daß sich die Nadel N mit der Grenzlinie G deckt und liest am Maßstabbild M' die Abweichung Δ der Grenzlinie G vom Maßstab M ab, und zwar in Millimetern. Der gesuchte Brechungsexponent ist nun gleich $\sqrt{2}$ (= 1,41) plus dem hundertsten Teil der Abweichung Δ.

Man kann leicht auf 1 mm genau ablesen; dabei entspricht gemäß dieser Regel jedem Millimeter nur 1 Einheit der zweiten Dezimale des gesuchten Brechungsexponenten. Es darf wohl vorausgenommen werden, daß nach den unter 2. gegebenen Überlegungen der so gefundene Wert nur um 1 Einheit der zweiten Dezimalstelle vom richtigen Wert abweichen kann.

Ist die bei diesem Versuch gewonnene Abweichung Δ zu gering, so kann man sie vergrößern, indem man die Nadel N in größerer Höhe h ($h > 10$ cm) anbringt. Dann erhält man den gewünschten Brechungsexponenten n, indem man zu $\sqrt{2}$ den Quotienten Δ/h (= tg α, α = Abweichung des Sehstrahls NG von der Maßstabrichtung addiert

$$n = \sqrt{2} + \frac{\Delta}{h}.$$

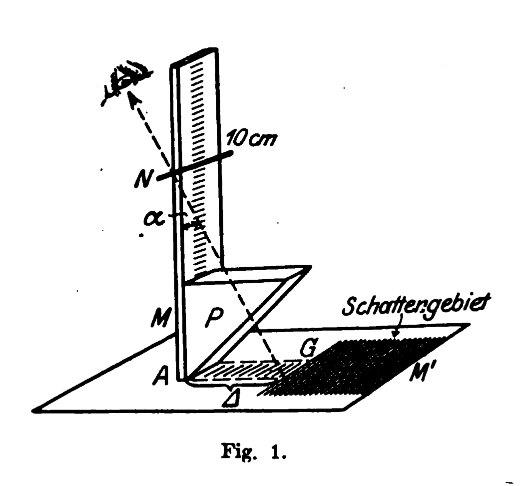


Fig. 1.

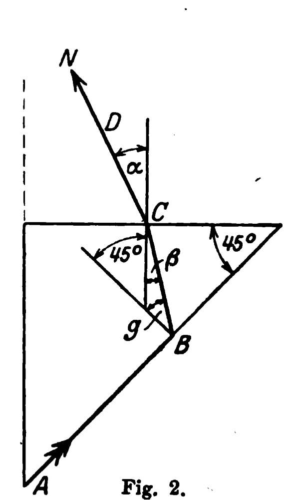


Fig. 2.

2. Nachweis der Formel. Das oben beschriebene Schätzungsverfahren eignet sich wohl nur für den Handgebrauch des Lehrers, da die Ableitung der Formel für die Schüler etwas zu umständlich ist. Doch kann da und dort der Lehrer vielleicht in einer Schülerübung auf der Oberstufe vor fortgeschrittenen Schülern gelegentlich der Demonstration der totalen Reflexion das dieser Formel zugrunde liegende Problem in einer immerhin nicht uninteressanten Rechenaufgabe behandeln lassen. Wir wollen dies an Hand von Fig. 2 verfolgen.

Es sei $ABCD$ der Verlauf des Grenzstrahles NG, dann ist klar, daß die Einfallslote in den Treffpunkten B, C einen spitzen Winkel von 45° bilden, da diese Lote auf den Schenkeln des 45°-Winkels senkrecht stehen, den die Hypotenusenfläche und die obere Kathetenfläche des Prismas bilden. Der Winkel β bei C und der Grenzwinkel g bei B sind also zusammen 45°, daher ist

$$\beta = 45 - g.$$

Der Brechungswinkel α bestimmt sich nun aus der Gleichung:

$$\sin \alpha = n \cdot \sin \beta = n \cdot \sin (45 - g) = n \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos g - \sin g).$$

Nun ist bekanntlich der Sinus des Grenzwinkels gleich dem reziproken Wert des (vom dünneren zum dichteren Mittel genommenen) Brechungsexponenten:

$$\sin g = \frac{1}{n}.$$

Führt man diesen Wert in die vorletzte Gleichung ein, wobei man auch $\cos g$ entsprechend ersetzt, so folgt:

$$\sin \alpha = \frac{n}{\sqrt{2}}\left(\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}-\frac{1}{n}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\sqrt{n^2-1}-1\right).$$

Löst man diese Gleichung nach n auf, so folgt:

$$n = \sqrt{2}\,\sqrt{1+\sqrt{2}\sin\alpha+\sin^2\alpha}.$$

Man kann nun für die zweite Wurzel einen Näherungswert entwickeln, da der zugehörige Radikand mit 1 beginnt, oder, wenn es sich um eine Durchnahme vor Schülern handelt, auch schreiben:

$$n = \sqrt{2}\sqrt{\left(1+\frac{\sqrt{2}}{2}\sin\alpha\right)^2+\frac{1}{2}\sin^2\alpha}.$$

Man läßt nun den zweiten Teil des Radikanden (als weniger belangreich bei kleinen Winkeln α, $\alpha < 10^0$) fort und erhält die gewünschte einfache Näherungsformel

$$n = \sqrt{2}\left(1+\frac{\sqrt{2}}{2}\sin\alpha\right) = \sqrt{2}+\sin\alpha.$$

Wie man sieht ist der wahre Wert von n etwas größer als der zuletzt entwickelte. Man kommt daher auf den Gedanken (was ja bei kleinen Winkeln erlaubt ist), den $\sin\alpha$, der an und für sich etwas schwer aus der Versuchsanordnung zu ermitteln wäre, durch den etwas größeren Wert $\operatorname{tg}\alpha$ zu ersetzen. Daher die Formel

$$n = \sqrt{2}+\operatorname{tg}\alpha$$
$$= \sqrt{2}+\frac{\Delta}{h}.$$

Prüft man jetzt den wahren Wert für n und den so gewonnenen Näherungswert für n etwa für einen größeren Winkel, z. B. $\alpha = 20^0$, so ergibt sich für diesen Fall:

Wahrer Wert $n = 1{,}789$. Näherungswert $n = 1{,}778$.

Der Unterschied beträgt nur 0,011, also nur ~ 1 Einheit der zweiten Dezimale. Dies ist wohl die Höchstdifferenz, die in Betracht kommt, da Brechungsexponenten von über 1,79 wohl bei Schulmessungen nicht vorkommen dürften.

Das Verfahren ist von idealer Einfachheit, da der Brechungsexponent n in zwei Summanden zerlegt erscheint: in einen festen Stammsummanden $\sqrt{2}$, der den größeren Betrag von n darstellt, und in einen kleineren Nebensummanden, der mit einem kleinen Handgriff festzustellen ist. Da der Beobachter die erforderliche Nebenrechnung leicht im Kopf ausführt, so überrascht es den Nichteingeweihten, wenn der Beobachter nach einem Blick auf die Nadel N und einigen Wendungen des Kopfes den gesuchten Brechungsexponenten sofort auf zwei Dezimalen genau anzugeben vermag.

3. Reine Schätzung. Wer einigermaßen Entfernungen gut schätzt, kann, wenigstens bei größeren Prismen, den Maßstab entbehren. Er nimmt das Prisma in seine Hand und hält es in deutlicher Sehweite entfernt vor seinem Auge in solcher Stellung, wie es bereits Fig. 1 andeutet. Dabei dreht er das Prisma so, daß dessen eine Kathetenfläche (die in Fig. 1 dem Maßstab anliegt) genau durch das Auge geht. Dies ist leicht zu erreichen. Schätzt er nun die Abweichung Δ auf 3 cm, die Entfernung des Prismas auf 30 cm, so hat er nur den Betrag $3:30 = 0{,}1$ zu $\sqrt{2}$ zu addieren, um den gesuchten Brechungsexponenten $n \sim 1{,}51$ angeben zu können.



Zur Bestimmung des Brechungsverhältnisses an einem Glaswürfel.

Von Prof. Dr. Dionys Koren in Budapest.

Die Mitteilung über Grimsehls Versuch zur Bestimmung des Brechungsverhältnisses in dieser Zeitschrift (**32**, 1917, S. 37) veranlaßt mich, eine äußerst einfache Abänderung dieser Methode mitzuteilen, die ich in den Schülerübungen seit Jahren gebrauche. Ich erinnere mich nicht, daß ich sie in Büchern oder in der Zeitschrift gelesen hätte, daher wird sie vielleicht von einigen Herren Fachgenossen gern zur Kenntnis genommen.

Es wird dazu außer einem Glaswürfel oder einer Glasplatte (von wenigstens 5 cm Höhe) nur ein Stück Millimeterpapier benutzt. Man zeichnet wegen der bequemeren Ablesung auf die Anfangslinie (0-Linie des Millimeternetzes) eine senkrechte Gerade und bezeichnet neben dieser beiderseits die Haupt-Teilungslinien des Netzes, nämlich die in 5, bzw. 10 mm Abständen folgenden Linien, erstere mit kürzeren, letztere mit längeren Strichen, und neben diese beiderseits schreibt man die entsprechenden Ziffern, wie bei einem Maßstab (Fig. 1).

Fig. 1.

Der Glaswürfel wird so auf das Millimeterpapier gelegt, daß eine Kante mit der 0-Linie der Teilung, eine andere mit der aufgezeichneten senkrechten Geraden zusammenfällt. Falls die Kanten, wie gewöhnlich, abgeschliffen oder abgerundet sind, schiebt man den Würfel so weit über die 0-Linie außer der Teilung, daß senkrecht von oben gesehen, die 0-Linie eben unter dem Würfel erscheint, dann fällt die Grenzlinie der ebenen, oberen Seitenfläche gerade über die 0-Linie (Fig. 2).

Wenn man jetzt in schiefer Richtung durch den Würfel nach der Teilung blickt, so erscheint die bedeckte Teilung gegen die unbedeckte nach vorn verschoben. Man beobachtet jetzt diejenige mm-Linie der unbedeckten, bzw. bedeckten Teilung, die in der Richtung der oberen Kante über der 0-Linie gesehen wird, also die Entfernungen a, bzw. b (Fig. 3). Zweckmäßig ist es, in einer solchen Richtung zu visieren, daß man in der Richtung der Kante durch den Würfel einen der ausgezogenen Teilstriche sieht, zu einem solchen kann man die entsprechende, in die Verlängerung desselben fallende, unbedeckte Linie leichter ablesen. Es genügt bei einem Würfel von 5 cm Kantenlänge in ganzen Millimetern abzulesen, man kann aber die Entfernungen auch bis $^1/_2$ mm Genauigkeit beobachten.

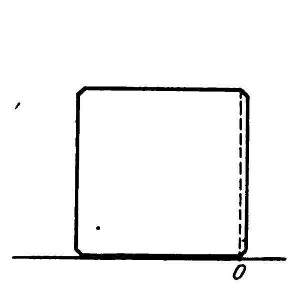


Fig. 2.

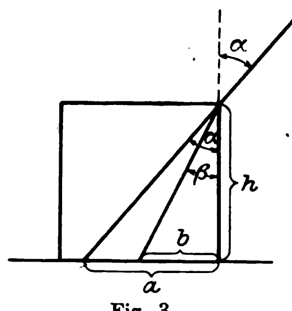


Fig. 3.

Die Höhe h wird ebenfalls auf dem Millimeterpapier gemessen, indem man den Würfel (bzw. Platte) mit der bis jetzt senkrechten Seite auf das Papier legt, so daß eine Endfläche auf die 0-Linie fällt, und an der gegenüber liegenden h abliest.

Dann ist das Brechungsverhältnis:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\dfrac{a}{\sqrt{a^2+h^2}}}{\dfrac{b}{\sqrt{b^2+h^2}}} = \frac{a}{b}\sqrt{\frac{b^2+h^2}{a^2+h^2}}.$$

Man beobachtet mehrere Wertpaare von a und b unter verschiedener Neigung, berechnet aus jedem derselben n und nimmt von diesen Werten das Mittel.

Mit diesem Verfahren kann man das Brechungsverhältnis sehr einfach und leicht bis zur Genauigkeit 0,01 bestimmen.

Zwei Versuche zur Lehre von der Brechung.

Von J. **Friedrich** in Elberfeld.

Mit dem in manchen physikalischen Sammlungen für optische Zwecke vorhandenen Spiegelglastrog lassen sich außer den üblichen Brechungsversuchen noch folgende hierhin gehörige Versuche anstellen.

I. Nachweis der Bildverlegung beim Durchgang des Lichtes durch planparallele Schichten. Von einem leuchtenden Gegenstand D (glühende Drahtschleife) entwerfe man mit Hilfe der Linse L (Fig. 1) auf einem Schirm ein scharfes Bild D_1. Nun schiebe man den mit Wasser gefüllten Glastrog G in den Gang der Strahlen zwischen Linse und Bild, so daß Vorder- und Hinterwand senkrecht zur Achse des Strahlenbündels stehen. Das Bild auf dem Schirm wird jetzt undeutlich, und man muß diesen weiter entfernen, damit wieder ein scharfes Bild D_2 entsteht.

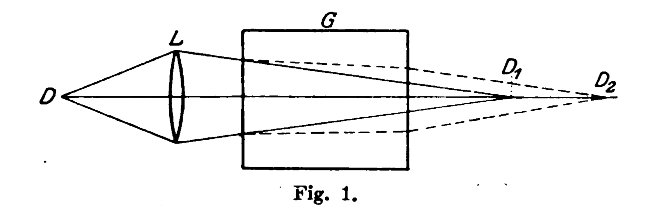


Fig. 1.

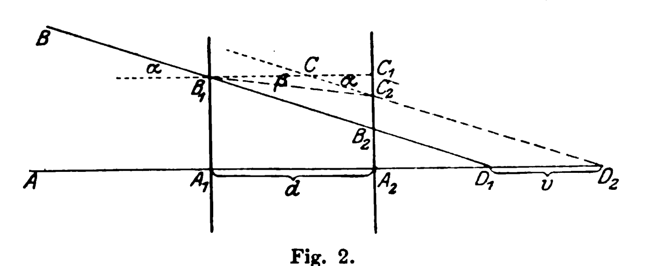


Fig. 2.

In Fig. 2 sei $A\,A_1$ der in Richtung der optischen Achse auffallende Strahl, $B\,B_1$ ein schief auffallender Strahl. Der ursprüngliche Schnittpunkt D_1 beider Strahlen wird durch Einschieben der Wasserschicht nach D_2 verschoben. Durch Konstruktion des Einfallslotes in B_1 und rückwärtige Verlängerung des austretenden Strahls $C_2 D_2$ ergibt sich, wenn d die Dicke der Wasserschicht, v die Verschiebung der Bildes bedeutet:

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{B_1 C_1}{C C_1} = \frac{d}{d-v}.$$

Da die in Betracht kommenden Einfallswinkel α nur klein sind, kann man setzen: $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ und folglich $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta} = n$ (Brechungsverhältnis). Demnach besteht folgende Beziehung zwischen Brechungsverhältnis, Dicke der Schicht und Verschiebung des Bildes:

$$n = \frac{d}{d-v}.$$

Der Versuch ermöglicht also eine, natürlich nur angenäherte Bestimmung des Brechungsverhältnisses.

Bringt man den Wasserkasten zwischen Gegenstand und Linse, so wird das zuerst erzeugte Bild ebenfalls unscharf. Um die Schärfe wieder herzustellen, hat man nur die Lichtquelle weiter zu entfernen, und zwar um denselben Betrag, um den beim ersten Versuch der Schirm verschoben werden mußte. Vergl. Fig. 1, wo jetzt D_1 die erste, D_2 die zweite Lage der Lichtquelle, D die unveränderte Stellung des Schirmes bedeutet.

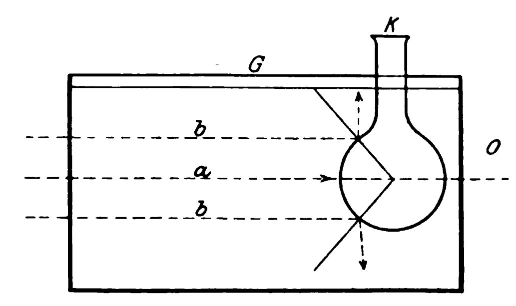


Fig. 3.

II. Ein Versuch über totale Reflexion (Fig. 3). Man schicke durch den mit Wasser gefüllten Glastrog G ein Bündel paralleler Lichtstrahlen. In den

Gang der Strahlen halte man einen leeren Rundkolben oder eine Kochflasche *K*. Blickt man jetzt von *O* aus durch die eingetauchte Kugel gegen die Richtung der Strahlen, so sieht man einen hellen Kreis, umgeben von einem dunkeln Ring. Der zentral durchgehende Lichtstrahl sei *a*. Die auf *a* nach allen Seiten folgenden Strahlen fallen unter stetig wachsendem Einfallswinkel auf, bis für die Strahlen *b* der Grenzwinkel der totalen Reflexion erreicht wird. Die weiter auftreffenden Strahlen werden nicht mehr durchgelassen, so daß also die eingetauchte Kugel wie eine Blende wirkt.

Ein eingetauchter Zylinder wirkt entsprechend als spaltförmige Blende.

Eine einfache Versuchsanordnung zum räumlichen Sehen.

Von **W. Kisse** in Berlin-Schmargendorf.

Die Vorrichtung (Fig. 1) besteht in der Hauptsache aus zwei punktförmigen Lichtquellen L_1 und L_2 (Glühlämpchen von 4 Volt), einem zu einer Schraubenlinie gewundenen ∼ 3 mm dicken Draht als dem schattenwerfenden Körper — in der Figur ist er durch das Kreuz 1 2 3 4 5 ersetzt —, einem Schirm *S* aus Seidenpapier und zwei Blendschirmen *B B*; sie ahmt auf die einfachste Weise das Entstehen zweier nicht kongruenter Bilder eines und desselben Körpers nach.

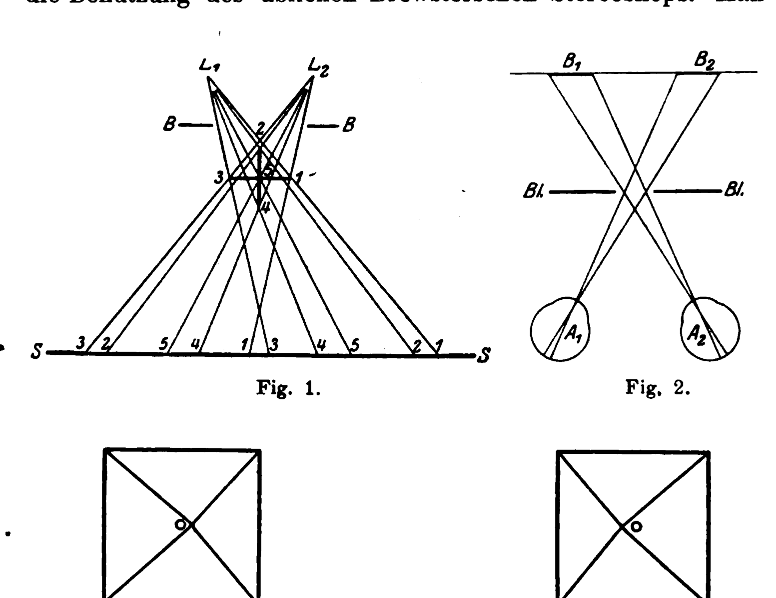


Fig. 1. Fig. 2.

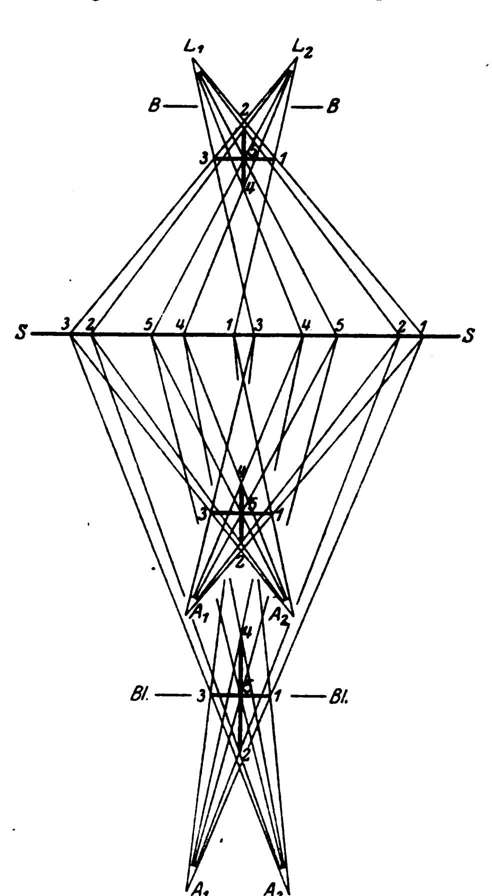
Fig. 3.

Diese auf dem Schirm *S S* erzeugten Bilder können auf dreierlei Art betrachtet werden und das Vorhandensein eines Körpers vortäuschen. Zunächst empfiehlt sich die Benutzung des üblichen Brewsterschen Stereoskops. Man glaubt dann den Draht selbst zu sehen, obwohl er in Wirklichkeit durch den undurchsichtigen Papierschirm vom Beschauer getrennt ist. Etwas störend macht sich allerdings die Lupenwirkung der mit den Prismen verbundenen Linsen und die dadurch sichtbar werdende Unschärfe der Schattenbilder bemerkbar. Auch bringt, wie später gezeigt werden wird, die Wirkung der Prismen es mit sich, daß der Draht in der Tiefe verzerrt erscheint. Frei von diesen Fehlern und darum wirkungsvoller ist die Betrachtung ohne Stereoskop bei parallelen Augenachsen. Der Abstand zweier entsprechender Bildpunkte darf natürlich nicht größer als der Augenabstand sein. Die dritte Möglichkeit besteht darin, daß man mittelst einer Blende *Bl* (Fig. 2) mit dem rechten Auge das linke Bild und mit dem linken Auge das rechte Bild gleichzeitig betrachtet. Wie die Figuren 4 und 5 zeigen (man beachte die verschiedene Lage der Punkte 2 und 4!), erhält man dann die umgekehrte stereoskopische Wirkung, man sieht den Körper gleichsam von hinten. Diese Betrachtungsart erfordert ebenso wie die vorhergehende einige Übung. Da die Augenachsen sich in der Blendenebene kreuzen, sind die Augen zunächst



auf diese Entfernung akkommodiert. Es gelingt jedoch auch hier durch Übung, sich von dieser Gewöhnung zu befreien, indem man z. B. auf die angegebene Weise die Figur 3 durch ein Loch von 2 cm Durchmesser, und zwar zunächst, um den Konvergenzwinkel der Augenachsen zu verkleinern, aus einer Entfernung von 60—80 cm betrachtet. Sollte der räumliche Eindruck nicht gleich eintreten, so durchlaufe man mit den Blicken alle Linien und verweile auf dem Spitzpunkte der Pyramide mehrere Sekunden. Bei der Betrachtung mit parallelen Augenachsen liegt die Spitze der Pyramide auf der anderen Seite.

Übrigens kann man bei der dritten Betrachtungsweise eine auffällige optische Täuschung beobachten. Der Gegenstand (z. B. die Pyramide) erscheint nämlich bei dieser linear auf die Hälfte verkleinert, obwohl die Netzhautbilder dieselbe Größe haben wie bei der zweiten Betrachtungsweise. Es liegt also eine Urteilstäuschung vor; wir glauben nämlich die Pyramide in der Blendenebene zu sehen, von wo aus wir ein doppelt so großes Bild erwarten, ein Beweis dafür, daß wir die Entfernung eines Gegenstandes aus der Stellung der Augenachsen zueinander, nicht aus der Akkommodation beurteilen.



Figg. 4 und 5.

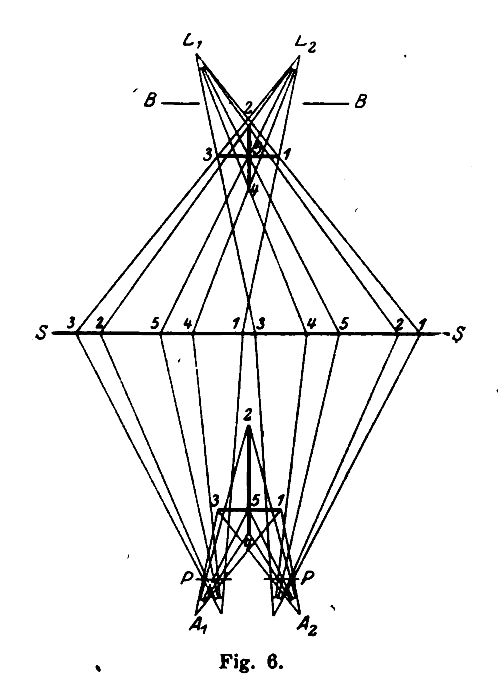


Fig. 6.

Um aus den beiden Schattenbildern einen körperlichen Eindruck mit richtiger räumlicher Tiefe zu erhalten, darf man den Augenabstand vom Schirm nicht willkürlich annehmen. Wie die Figuren 4 und 5 zeigen, erhält man den richtigen Tiefeneindruck dann, wenn die Augen A_1 und A_2 und die Lichtquellen L_1 und L_2 in bezug auf den Schirm SS spiegelbildlich liegen, allgemeiner, wenn der Konvergenzwinkel der Augenachsen gleich dem Winkel der durch den entsprechenden Gegenstandspunkt gehenden Lichtstrahlen ist. Die Tiefe verringert sich also mit dem Abstand der Augen vom Schirm.

Wie schon eingangs erwähnt wurde, bringt es die Betrachtung durch das Stereoskop mit sich, daß die Gegenstände in der Tiefe verzerrt erscheinen. Zur Veranschaulichung dient die Figur 6, in der nur die Wirkung der Prismen, die durch die Geraden PP ersetzt sind, berücksichtigt ist. Die Verzerrung rührt von der ungleichen Größe der Projektionen der gleich großen Strecken $\overline{25}$ und $\overline{45}$ her. Man kann jedoch den Fehler dadurch vermindern, daß man die Lampen recht weit (etwa 2 m) vom Schirm aufstellt und den Gegenstand dem Schirm möglichst (auf etwa 30 cm) nähert; der Lampenabstand ($\sim$ 80 cm) braucht natürlich nicht, wie es in den Figuren angenommen ist, gleich dem Augenabstand zu sein.

Eine Anordnung zur objektiven Sichtbarmachung der Eigenschaften trüber Medien an leuchtenden Kohlenstoffflammen.

Von **Elisabeth Benedict** und **Hermann Senftleben** in Breslau.

Unter einem trüben Medium versteht man bekanntlich ein Medium, in das Teilchen einer fremden Substanz von der Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes eingelagert sind. Über die Lichtausbreitung in einem solchen Medium, die wesentlich durch die Beugung an den eingelagerten Teilchen bedingt ist, liegen eine ganze Reihe unter den verschiedensten Gesichtspunkten ausgeführte experimentelle und theoretische Untersuchungen vor. Wohl als erster behandelte Rayleigh[1]) dieses Problem unter der Annahme, daß die eingelagerten Teilchen vollkommene Nichtleiter und äußerst klein gegenüber der Wellenlänge des Lichtes seien; er zeigte, daß unter diesen Voraussetzungen von den Teilchen eine teilweise polarisierte diffuse Strahlung ausgeht, deren Intensität der vierten Potenz der Wellenlänge umgekehrt proportional ist. (Erklärung des Himmelsblaus.) Nach einer Reihe weiterer, sich auf andere Spezialfälle erstreckender Untersuchungen [u. a. J. J. Thomson[2]) (vollkommene Leiter), F. Ehrenhaft[3]), F. Pockels[4]), J. C. Maxwell Garnett[5])] wurde das Problem der Optik trüber Medien in großer Allgemeinheit von G. Mie[6]) entwickelt. Er behandelte auf Grund der Maxwellschen Theorie die Beugung elektromagnetischer Wellen an kleinen Kugeln beliebigen Materials und konnte auf diesem Wege die meisten charakteristischen Eigenschaften trüber Medien, wie man sie z. B. an kolloiden Metalllösungen beobachtet, deuten. In noch größerer Verallgemeinerung bezüglich der Gestalt und Lagerung der eingebetteten Teilchen wurde dieses Problem von R. Gans und H. Happel[7]) und R. Gans[8]) behandelt.

Im Laufe von Untersuchungen, die wir über die optischen Eigenschaften leuchtender Kohlenstoffflammen ausführten, wurden wir zu der Annahme geführt, daß derartige Flammen, in denen ja Kohlenstoff in fein verteiltem Zustande die lichtaussendenden Partikel bildet, als trübes Medium aufzufassen seien und infolgedessen auch alle charakteristischen Eigenschaften eines solchen zeigen müßten.

Zur experimentellen Prüfung dieser Annahme angestellte Versuche zeigten, daß bei genügend intensiver Bestrahlung der Flamme seitlich abgebeugtes Licht deutlich wahrnehmbar war, das auch, wie es der eben ausgesprochenen Ansicht entspricht, bestimmte Polarisationseigenschaften aufwies. Diese Erscheinungen ließen sich subjektiv in allen Einzelheiten (z. B. Abhängigkeit von Richtung und Wellenlänge) be-

---

[1]) Lord Rayleigh, Phil. Mag. (4) 41, S. 107 u. 447. 1871; (5) 12, S. 81. 1881.
[2]) J. J. Thomson, Recent Researches in Electricity and Magnetism S. 363 u. 437. 1893.
[3]) F. Ehrenhaft, Ann. d. Phys. 11, S. 489. 1903; Phys. Zeitschr. 5, S. 387. 1904.
[4]) F. Pockels, Phys. Zeitschr. 5, S. 152 u. 460. 1904.
[5]) J. C. Maxwell Garnett, Phil. Trans. (a) 203, S. 385. 1904 u. 205, S. 237. 1906.
[6]) G. Mie, Ann. d. Phys. 25, S. 377. 1908.
[7]) R. Gans u. H. Happel, Ann. d. Phys. 29, S. 277. 1909.
[8]) R. Gans, Ann. d. Phys. 37, S. 881. 1912.



obachten und messend verfolgen. Anläßlich eines Vortrags über die Ergebnisse von eingehenden experimentellen und theoretischen Untersuchungen dieser Fragen [1]) gelang es uns, die eben erwähnten Erscheinungen einem großen Auditorium objektiv in voller Deutlichkeit sichtbar zu machen. Im folgenden wollen wir nun die Versuchsanordnung, zu der nur verhältnismäßig einfache Mittel nötig sind, näher beschreiben:

Von den verschiedenen Arten leuchtender Kohlenstoffflammen war für unsere Zwecke die Flamme der Hefnerkerze am geeignetsten, da sie konstant brennt und jederzeit leicht wieder herzustellen ist. Als Lichtquelle zur Bestrahlung erwies sich allein eine Bogenlampe als genügend intensiv, um die Beugungserscheinung deutlich sichtbar zu machen. Die Versuchsanordnung zur objektiven Sichtbarmachung dieser Erscheinung geht aus Fig. 1 hervor. Die Bogenlampe B, als welche wir eine Projektionslampe mit zueinander senkrecht stehenden Kohlen benutzten, steht im Gehäuse G, um störendes Licht im Zimmer zu vermeiden. Das Licht der Bogenlampe wird durch den Kondensor K und eine Linse L_1 von geeigneter, sehr kurzer Brennweite auf den am hellsten leuchtenden Teil der Flamme F konzentriert, auf der dann in der aus Fig. 2 ersichtlichen Weise das von der Flamme abgebeugte Licht sichtbar wird. Die Flamme F wird durch die Linse L_2, deren Brennweite je nach der Entfernung des Projektionsschirmes S zu wählen ist, auf diesen abgebildet. Zum Schutze gegen Luftströmungen dient ein Glaskasten T, welcher auch durch geeignet angebrachte Glasscheiben ersetzt werden kann. Um die Lichtstärke nicht allzu sehr herabzusetzen, empfiehlt es sich, keine zu starke Vergrößerung bei der Abbildung zu wählen (nicht über 20fach). Die durch die Abbildung hervorgerufene Umkehrung des Flammenbildes kann durch Einschaltung eines Spiegels in den Strahlengang wieder aufgehoben werden [2]).

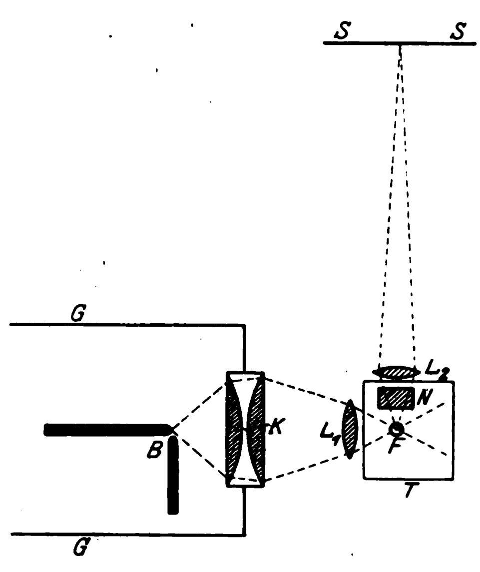
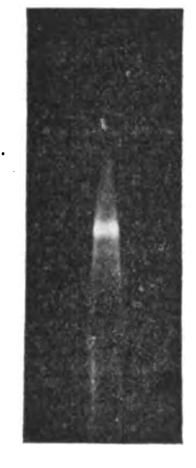


Fig. 1.

Mit Hilfe der hier beschriebenen Anordnung ist der Strahlengang des Bogenlampenlichtes, der durch die Beugung an den Kohlenstoffteilchen sichtbar wird, auch in dem Flammenbild auf dem Projektionsschirm sehr gut erkennbar, und zwar entweder in Form eines Fleckes wie in Fig. 2, oder, falls das Licht noch schärfer konzentriert wird, als zwei Flecke an der Ein- und der Austrittsstelle des Strahlenganges; dies rührt daher, daß die Kohlenstoffteilchen hauptsächlich am Flammenrande angehäuft sind und im ersten Fall der Strahlenkegel mehr Randpartien streift, als im zweiten Fall.


Fig. 2.

Die Intensität des abgebeugten Lichtes nimmt nach unseren Untersuchungen nach kürzeren Wellenlängen hin erheblich zu. Dies läßt sich auch objektiv ohne Schwierigkeiten sichtbar machen, indem bei Einschaltung eines nicht

[1]) Diese Untersuchungen behandelt eine demnächst in den Annalen der Physik erscheinende Arbeit der Verfasser mit dem Titel: Über die Beugung des Lichtes an den Kohlenstoffteilchen leuchtender Flammen.

[2]) Bei unserem Versuch betrug der Abstand Flamme—Schirm ca. 2 m, die Brennweite des Kondensors 14 cm, die der Linse L_1 14 cm, die der Linse L_2 12 cm.

zu dunklen blauen Farbfilters der Fleck auf der Flamme erheblich deutlicher hervortritt, als bei Benutzung eines Rotfilters[1]).

Um zu zeigen, daß das abgebeugte Licht bestimmte Polarisationseigenschaften aufweist, wie es der Auffassung der Flamme als trübes Medium entspricht, wird ein Nicolsches Prisma mit möglichst großer Öffnung bei N (s. Fig. 1) in den Strahlengang eingeschaltet. Steht die Schwingungsebene des durch den Nicol gegangenen Lichtes senkrecht zu der durch einfallenden Strahl und Beobachtungsrichtung bestimmten Ebene (in diesem Falle die Horizontalebene), so wird die Intensität des Fleckes nicht verändert. Dreht man dagegen den Nicol um 90°, so verschwindet der Fleck fast vollkommen, da das abgebeugte Licht zu ca. 85 % polarisiert ist[2]) und seine Schwingungsebene senkrecht zur Beobachtungsebene liegt. Bei der zuerst angegebenen Stellung des Nicols tritt der Fleck erheblich heller auf der Flamme hervor als ohne Einschaltung des Nicols, da die Intensität der Flamme durch den Nicol ca. auf die Hälfte geschwächt wird, während das polarisierte abgebeugte Licht ihn fast ungeschwächt durchsetzt. Daher empfiehlt es sich, zur Erhöhung der Deutlichkeit der Erscheinung von vornherein den Nicol in der angegebenen Weise in den Strahlengang einzuschalten. In Ermangelung eines Nicolschen Prismas mit genügend großer Öffnung kann man die Polarisation des abgebeugten Lichtes auch durch Reflexion an einem Spiegel demonstrieren. Der Polarisationsgrad des abgebeugten Lichtes zeigt der Theorie gemäß eine starke Abhängigkeit vom Winkel zwischen Beobachtungsrichtung und einfallendem Strahl (das Maximum der Polarisation liegt ca. bei 90°), eine Erscheinung, welche man ebenfalls objektiv demonstrieren kann, falls es möglich ist, die ganze Versuchsanordnung außer der Linse L_2 drehbar aufzustellen.

Von den quantitativen Ergebnissen unserer Untersuchungen sei hier noch kurz erwähnt, daß der durchschnittliche Durchmesser der beugenden Kohlenstoffteilchen einer Hefnerkerze ca. $1{,}75 \cdot 10^{-5}$ cm und die Zahl der Teilchen pro Volumeneinheit $6{,}5 \cdot 10^{8}$ beträgt.

Nachweis der Selbstinduktion.

Von **Dr. A. Klaus** in Charlottenburg.

Der für die modernen technischen Anwendungen der Wechselstromlehre so ungeheuer wichtige Begriff der Selbstinduktion stößt bekanntlich für das Verständnis der Schüler auf große Schwierigkeiten, die z. B. wohl darin begründet sind, daß es schwer ist, diese Induktionswirkung wirklich zu zeigen. Gewöhnlich wird dann die Rogetsche hüpfende Spirale herangeholt, die aber insofern sehr unbefriedigend ist, als ja der erwartete Induktionsstrom hierdurch nicht nachgewiesen wird[3]).

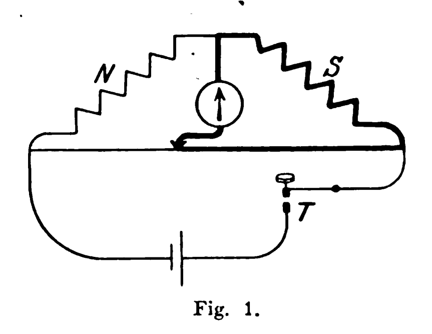


Fig. 1.

Und doch ist es leicht, den Extrastrom durch folgenden Versuch mit den in jeder physikalischen Sammlung vorhandenen Mitteln zu zeigen. Eine gewöhnliche, Selbstinduktion entwickelnde Spule S (Fig. 1) wird mit einem bifilar gewickelten Normalwiderstand N zu einer Wheatstoneschen Brückenschaltung vereinigt und die Brücke auf Stromlosigkeit eingestellt. Im Augenblick der Unterbrechung der Taste T zeigt das Galvanometer einen ballistischen Ausschlag, welcher von dem Extrastrom in S herrührt,

[1]) Dieser Effekt beruht allerdings nicht gänzlich auf der Intensitätsverteilung des abgebeugten Lichtes, sondern ist zum Teil durch die Eigenhelligkeit der Flamme, die im Rot größer ist als im Blau, bedingt.

[2]) Vgl. die demnächst in den Annalen der Physik erscheinende Arbeit der Verfasser.

[3]) Man vergl. hierzu P. Spies, *diese Zeitschr. 10, 29.* *Die Schriftleitung.*



dessen Stromkreis in der Figur durch starke Linien hervorgehoben ist. Wird nun T wieder geschlossen, so zeigt das Galvanometer trotz unveränderter Einstellung der Brücke auf Stromlosigkeit einen Ausschlag nach der entgegengesetzten Richtung wie vorher, weil das Gleichgewicht durch den Extrastrom im Zweige S während des Anwachsens des Batteriestromes auf den Maximalwert gestört ist. Sind Polarität der Batterie und der Zusammenhang zwischen Ausschlagsrichtung und Stromrichtung für das Galvanometer bekannt, so läßt sich auch das Gesetz über die Richtung des Extrastromes bei Unterbrechung und Stromschluß leicht bestätigen.

Die Versuche sind ebenso überzeugend, wie die grundlegenden über die einfache Magnetinduktion. Auch der Einfluß des Eisenkernes kommt deutlich zur Darstellung, wenn der Versuch mit und ohne Eisenkern angestellt wird. Mit einem auf 0,001 Amp. empfindlichen Galvanometer dürfte sich der Nachweis bei einer Batteriestromstärke von 0,5 bis 0,75 Amp. ohne weiteres erbringen lassen. Werden sehr empfindliche Spiegelgalvanometer in der Brücke benutzt (ohne Eisenkern!), die sich infolge unvermeidlicher geringer Veränderungen des Schleifkontaktes sehr schwer auf Null einstellen lassen, so ist es günstig, die Stromrichtung aus der Batterie so zu wählen, daß nicht Batteriestrom und Extrastrom in der Brücke dieselbe Ausschlagsrichtung ergeben.

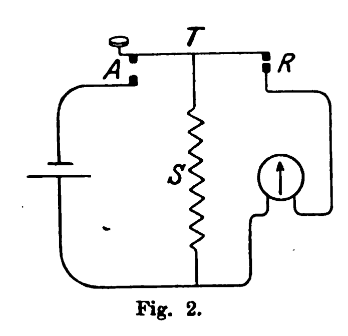


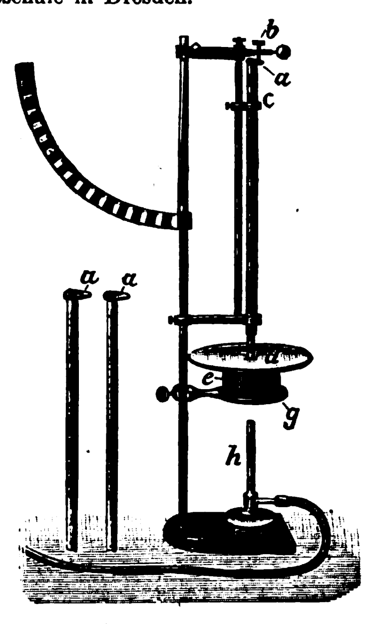
Fig. 2.

Wo eine Wheatstonesche Brücke nicht verfügbar ist, kann der Versuch auch mit Hilfe einer Morsetaste nach nebenstehender Schaltung (Fig. 2) ausgeführt werden. Wird durch kurzen Druck auf die Taste der Arbeitskontakt A auf einen Augenblick geschlossen, der Ruhekontakt R unterbrochen, so zeigt das Galvanometer nach Loslassen der Taste einen ballistischen Ausschlag, durch welchen wenigstens der Unterbrechungsextrastrom gezeigt wird. Auch hier gelingt der Versuch mit Eisenkern bei einer Primärstromstärke von 0,5 Amp. mit einer 1-ohmigen Spule durch ein auf 0,001 Amp. empfindliches Galvanometer.

Zur Bestimmung des linearen Ausdehnungskoeffizienten fester Körper.

Von **H. Krebs**, Physiker an der städt. Gewerbeschule in Dresden.

An dem von der Firma Meiser und Mertig in Dresden hergestellten und nebenstehend abgebildeten Apparat wird die durch Erwärmung hervorgerufene Verlängerung der Probestäbe (Rohre aus Eisen, Messing oder Zink) durch Anwendung eines ungleicharmigen Hebels auf einen Zeiger vergrößert übertragen, der vor einer weithin sichtbaren Skala spielt. Die Erwärmung geschieht durch Wasserdampf, der in dem kleinen Kessel *e* erzeugt wird. Die Asbestscheibe *d* verhindert hierbei die Erwärmung des Gestelles durch die von der Flamme des Bunsenbrenners *h* aufsteigenden heißen Gase. Die Schraube *b*, welche auf dem an den Röhren befestigten Querstücke *a* aufsitzen muß, ist vor Anstellung eines Versuches so zu drehen, daß die Zeigerspitze auf dem Skalennullpunkte steht.



Man kann nun mit diesem Apparat den linearen Ausdehnungskoeffizienten recht genau bestimmen, indem man, während der Dampf durch das Rohr strömt, die Schraube *b* bis zum Verschwinden des Zeiger-

ausschlages zurückdreht. Aus der bekannten Ganghöhe der Schraube und der Anzahl der Schraubenumdrehungen läßt sich dann zunächst die Verlängerung und aus dieser, der ursprünglichen Rohrlänge und der Temperaturerhöhung der Ausdehnungskoeffizient berechnen.

Sofern die Ganghöhe der Schraube nicht bekannt ist, kann man dieselbe nach Ambronn[1]) oder Vogler[2]) leicht in der Weise bestimmen, daß man die Schraube zwischen zwei nicht zu harte weiße Kartenblättchen legt und diese leicht zusammenpreßt. Die Schraubengänge drücken sich dann gut ab, und man kann durch Anlegen eines guten Maßstabes leicht zwei nicht zu nahe gelegene Stellen finden, an denen Abdruck und Millimeterstrich genau übereinstimmen. Zählt man dann (eventuell mit der Lupe) die Anzahl der Schraubengänge und teilt mit dieser die Anzahl der Millimeter, welche demselben Intervall entsprechen, so hat man die Ganghöhe und zwar um so genauer, je länger die gemessene Strecke war.

Zur möglichst genauen Feststellung der Schraubenumdrehungen dürfte es sich empfehlen, den Kopf der Schraube durch Einreißen einiger Linien in eine Anzahl gleicher Teile zu teilen und am Gestell eine einfache Ablesemarke anzubringen. Letztere kann z. B. auch durch den Zeiger des neben dem Apparat aufgestellten Höhenmaßstabes ersetzt werden, der wohl in jeder Sammlung vorhanden ist. Als Beleg mögen folgende Zahlenangaben dienen:

1. Apparatkonstanten.

Ganghöhe der Schraube (durch Abdrücken auf Papier bestimmt): $g = 0{,}25$ mm
Rohrlängen: $l = 321$ mm

2. Beobachtungswerte.

Temperaturerhöhung: $t = 84^0$ C
Anzahl der Schraubenumdrehungen bei Anwendung eines Eisenrohres: $n_1 = 10/8$
„ „ „ „ „ „ Messingrohres: $n_2 = 16/8$
„ „ „ „ „ „ Zinkrohres: $n_3 = 19/8$

Aus diesen Werten berechnet sich der lineare Ausdehnungskoeffizient α nach der Formel $\alpha = \frac{g \cdot n}{l \cdot t}$ zu:

$0{,}0000116^0\ C^{-1}$ für Eisen;
$0{,}0000185^0 \cdot C^{-1}$ „ Messing;
$0{,}0000221^0\ C^{-1}$ „ Zink.[3])

Für die Praxis.

Formänderung bei der Biegung elastischer Stäbe. Von Prof. Dr. **H. Schüepp,** Zollikon. Biegt man einen Stab bis zum Brechen, so erkennen die Schüler sofort, daß die Fasern auf der konvexen Seite verlängert worden sind; die Verkürzung auf der konkaven Seite dagegen wird kaum beachtet werden. Diese Verkürzung läßt sich jedoch leicht nachweisen und es läßt sich zeigen, daß sie der Verlängerung auf der Zugseite gleich ist. Auf beiden Seiten einer glatt liegenden Reißschiene klebt man zwei gleiche Streifen von 30—40 cm Länge aus ziemlich steifem Papier mit ihren Enden fest. Nach dem Trocknen durchschneidet man sie an einer Stelle normal

1) Ambronn, Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde I. Bd. (Berlin 1899 Springer), S. 29 u. 157.

2) Vogler, Lehrbuch der praktischen Geometrie I. (Braunschweig 1885, Vieweg), S. 90.

3) Die Abweichung beim Zink dürfte darauf zurückzuführen sein, daß für die Herstellung des Zinkrohres gewöhnliches Zinkblech verwendet worden ist.



zur Längsrichtung. Die Schnittkanten werden sich bei nicht verbogener Schiene berühren; die Streifen sind also Zeiger für die anfängliche Länge der Holzfasern. Hierauf biegt man die Enden der Reißschiene gegeneinander und hält sie in dieser Lage durch einen Bindfaden fest. Die Schnittkanten der Streifen werden auf der Zugseite auseinander, auf der Druckseite gleich viel übereinander treten. Natürlich läßt sich der Versuch auch für stärkere Stäbe durchführen. Doch sind bei solchen für gleich große Dehnungen größere Kräfte nötig.

„Doppelhakengewichte“. *Zu Jahrgang 31, S. 223.* Von **E. R. Müller** in Marne. In meinen jungen Jahren (ich unterrichte bereits 48 1/2 Jahre Physik) habe ich mit geringer Mühe Doppelhakengewichte aus Blei dadurch hergestellt, daß ich in hartes Holz für 20 g-Stücke ausreichende Löcher bohrte und den Boden jedes Loches in der Mitte fein durchstieß, um ein Stück dünnen Eisendraht hindurchstecken zu können. Die Einstimmung auf 20 g bewirkte ich durch Abkneifen.

Da diese Gewichte für die neueren Hebel unzweckmäßig sind, habe ich nach Anschaffung eines neuen Hebels von einem Bleirohr passende Stücke abgeschnitten, diese flach geschlagen und rechtzeitig je zwei Stücke Eisendraht, reichlich 1 cm voneinander entfernt, und wo es nötig war, Blei zum Ausgleich auf 20 g hineingelegt. Die Drähte sind an dem einen Ende zu Ösen, die gleiche Richtung mit der Bleiplatte haben, am anderen Ende zu Haken, die senkrecht zur Platte stehen, gebogen. Die Platten sind 25 mm breit und (in Richtung der Eisendrähte, bzw. des Bleirohrs) ungefähr 17 mm lang.

Zum experimentellen Nachweis des Archimedischen Gesetzes. Von Prof. **K. Richter** in Offenbach a. M. Bei der Anfertigung der von K. Rosenberg beschriebenen vereinfachten Kolbeschen Zweifederwage[1]) zum experimentellen Nachweis des Archimedischen Gesetzes sah ich mich gezwungen, einige Abänderungen vorzunehmen, die z. T. durch äußere Umstände bedingt waren und demnach nicht schlechtweg als Verbesserungen anzusehen sind. Da ich aber glaube annehmen zu dürfen, daß auch anderswo dieselben Schwierigkeiten auftreten können wie bei mir, so will ich diese Abänderungen kurz mitteilen.

Der in meiner Sammlung befindliche zylindrische Messingkörper erwies sich als zu schwer, d. h. die Spiralfedern, deren Windungsdurchmesser ich absichtlich, um größere Empfindlichkeit zu erzielen, größer als 1 cm genommen hatte, streckten sich zu sehr, während ihre Verkürzung beim Eintauchen des Körpers trotzdem nur 1—1 1/2 cm betrug. Verkleinerung des Windungsdurchmessers der Federn hätte zwar beim Anhängen des Körpers eine innerhalb angemessener Grenzen bleibende Verlängerung, dafür aber wieder beim Eintauchen des Körpers eine noch geringere Verkürzung der Federn ergeben. Ich ließ daher zunächst alles nicht unbedingt Erforderliche, wie die Wagschale und den Metallzeiger, fort (als Zeiger kann der zugespitzte Holzstab selbst dienen) und entschloß mich, einen leichteren Senkkörper von möglichst großem Volumen anzufertigen. Aus meinem Vorrat von Probiergläsern suchte ich mir zwei heraus, von denen das eine möglichst genau in das andere paßte, und schnitt sie auf gleiche Länge ($\sim$ 12 cm) ab. Das engere wurde nach geeigneter Beschwerung mit Tarierschrot mit einem Korkstopfen verschlossen, in den ein Drahthaken gesteckt war, und als Senkkörper verwendet. Das andere wurde mit der passenden Aufhängevorrichtung aus Draht versehen. Man kann ja nun, wie das bei dem Versuch allgemein üblich ist, den Senkkörper an den Hohlkörper anhängen. Das ist auch hier möglich, wenn man den Hohlkörper in ein Drahtgeflecht einschließt, das unten in einen Haken endigt. Man kann aber auch

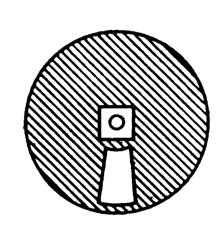
[1]) *Diese Zeitschrift 31. S. 131 (1918).*



die beiden Körper in der von Rosenberg angegebenen Weise mittels zweier verschiebbaren Hülsen nebeneinander an den unteren Holzstab der Zweifederwage hängen, muß dann jedoch nach dem Eintauchen des Senkkörpers durch Verschieben des Hohlkörpers von neuem für horizontale Lage des Zeigerstäbchens sorgen. Wer aber die dabei möglicherweise auftretenden didaktischen Schwierigkeiten fürchtet, verzichte lieber auf diesen geringfügigen Vorteil und nehme das Stativ entsprechend höher.

Ich erzielte auf die angegebene Weise beim Eintauchen des Senkkörpers in Wasser eine Verkürzung von $\sim$ 5 cm, die natürlich deutlich erkennbar ist.

Stroboskopische Beobachtungen beim Wechselstrom-Bogenlicht. Von **H. Rebenstorff** in Dresden. Mit einem kräftigen Elektromotor wird eine aufgeschraubte, etwa 40 cm große Pappescheibe in schnellste Bewegung gesetzt. (Sonst macht sich mit der Größe der Scheibe der Luftwiderstand sehr geltend.) Der Rand der Scheibe aus schwarzer Pappe überragt ringsherum den auf starken Klötzen stehenden Motor, so daß durch den einen (oder diametral angebrachten zweifachen) Ausschnitt Licht ungehindert durchtreten kann. Vor der Scheibe steht nun eine kleine Bogenlampe, z. B. in der Classenschen Form mit wagerechter und senkrechter Kohle. Das Licht geht durch den Scheibenausschnitt, wenn die Drehung ihn gerade davor führt, und von den Kohlenspitzen entsteht durch die vor dem Lichtbogen wirkende Linse auf einem um einige Meter entfernten Projektionsschirm ein gutes Bild der von vorne gesehenen Glühfläche der wagerechten und des Profils der Glühfläche der anderen Kohle. Bei schnellem Gange des Motoren tritt nun der Fall ein, daß genau nach einer Stromperiode Licht durch den Spaltausschnitt fällt. Es werden gleiche Phasen aus dem veränderlichen Glühen der Kohlenenden aneinander gereiht. Den Verlauf der Phasen ersieht man stroboskopisch sehr verlangsamt, da nur für Augenblicke Dauer der Lichtperiode und Wechsel des Ausschnittes übereinstimmen.



Zur Vorderbeleuchtung einer nur handgroßen, schwarz überklebten Scheibe aus 0,01 mm starkem Aluminiumblech, auf der ein weißer Sektor von etwa 30° angebracht ist, wurde ein Blechhalbkreis mit umgebogenen Blechstreifen so vor die Kohlenenden in die Zylinderhülle der Lampe geschoben, daß das untere Ende verdeckt wurde. Aus der Lampe tritt dann nur das Licht der wagerechten Kohle, in der Sekunde so oft, wie die Periodenzahl zuläßt. Die Scheibe war am Schnurlaufrädchen einer kleinen Rabeschen Turbine befestigt, indem einfach ein Streifen gutes Klebband (*diese Zeitschr. 27, 174*) über ein kaum 1 cm großes Mittelloch geklebt war. Bei gutem Zentrieren der Scheibe wurde sie nicht abgeschleudert und konnte sehr schnell ohne Schrauben ausgewechselt werden. Beim allmählichen Angehen der Turbine sieht man im Licht der ohne Linse wirkenden Lampe Augenblicke eintreten, in denen der weiße Sektor beim neuen Ausbrechen des hellen Lichtes am selben Orte ist. Hier zeigt sich also der Sektor, freilich besonders nach der einen Seite hin sehr verwaschen. Bei geringerer Geschwindigkeit sieht man ihn vielleicht 5 bis 6mal. Nach weiterem Öffnen des Wasserhahns wird diese Zahl mit Zwischenzeiten, in denen die Scheibe gleichmäßig grau aussieht, geringer. Gewöhnlich konnten drei Sektoren, selten auch nur zwei erreicht und damit die Drehungszahl 25 überschritten werden, da die Periodenzahl des Wechselstroms 50 betrug. Schonung der Kriegswasserschläuche hielt von vollem Öffnen der Leitung ab.



Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Elektronenversuche mit Flammen. In den *Vierteljahresberichten des Wiener Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts XXIII, Nr. 1/4 (1918)* veröffentlicht K. Bruno Versuche über Elektronen, die er im genannten Verein im Mai 1918 vorgeführt hat. Wir berichten über einige von ihnen, die besonders auch wegen ihrer methodischen Anordnung Interesse erregen werden.

1. Es wird angeknüpft an einen bekannten Versuch: Bringt man in die Nähe einer elektrisch geladenen Kugel, an der ein elektrischer Pendel hängt, die Flamme eines Bunsenbrenners, so verschwindet der Ausschlag des Pendels alsbald. Man schreibt dies der Wirkung der Ionen zu, die in der Flamme auftreten. Zum Zweck näherer Erforschung der elektrischen Natur solcher Flammen werden nun zwei auf Glasplatten isolierte Bunsenbrenner mit leuchtender Flamme an die beiden Pole einer Holtzschen Influenzmaschine angeschlossen. Beide werden stetig und gleichmäßig elektrisch geladen, aber an dem negativ geladenen Brenner wird der leuchtende Teil der Flamme tief zum Brennerrohr, teils in das Innere, teils an der Außenwand herabgezogen, so daß die Flamme die Gestalt eines Pilzhutes annimmt, während die mit dem positiven Pol verbundene Flamme keine Spur einer solchen Veränderung erkennen läßt. Der Versuch lehrt offenbar, daß die leuchtende Flamme positiv elektrisch ist; es läßt sich zeigen, daß die Träger der elektrischen Ladung die glühenden Kohlenstoffteilchen sind, die auch am Brennerrohr einen deutlichen schwarzen Niederschlag liefern.

2. Um auch negativ elektrische Ladung nachzuweisen wird eine Leidener Flasche A (Fig. 1) mit großem kugelförmigen Knopf negativ ge-

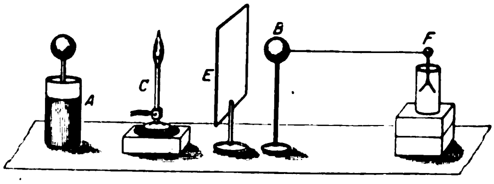


Fig. 1.

laden und etwa $^3/_4$ m entfernt von einer gleichgroßen isolierten Metallkugel (B) aufgestellt, die durch einen dünnen, etwa $1^1/_2$ m langen Draht mit einem Elektroskop E verbunden ist. Der Ausschlag des Elektroskops verschwindet wieder, wenn man die Leidener Flasche entfernt. Stellt man aber nun zwischen A und B eine isolierte Bunsenflamme, so wächst der sich zeigende Ausschlag des Elektroskops rasch bis zum völligen Spreizen der Blättchen und bleibt in nahezu derselben Größe bestehen, auch wenn man die Flamme wieder entfernt. Hieraus geht hervor, daß das Elektroskop durch negativ elektrische Teilchen, die von der Flamme herrühren, geladen worden ist. Dabei wirkt die geladene Kugel A als „Treiber" der von der Flamme C ausgesandten Teilchen.

3. Zur Beantwortung der Frage nun, ob diese negativ elektrischen Teilchen Elektronen sind, schiebt man zwischen C und B ein genügend großes Blech E auf isoliertem Fuß, dann wird dieses mit A gleichnamig geladen, wie man leicht erkennt, wenn man nach Entfernung von A und C das Blech ebenfalls entfernt und dann wieder nähert. Der Versuch gelingt auch mit einer Hartgummi- oder Glasplatte. Auch jetzt noch zeigt das Elektroskop eine Ladung, die auch nach Wegnahme von A, C, E bestehen bleibt. Die Ladung des Elektroskops kann also nicht durch Ionen bewirkt sein, da solche durch feste Körper nicht hindurchgehen, es können vielmehr nur Elektronen sein, und zwar langsame Elektronen, da solche von großer Geschwindigkeit (wie in den Kathodenröhren) nur durch ganz dünne Platten hindurchgehen. Versuche mit Röntgenröhren, die sich hier anschließen, möge man a. a. O. nachlesen.

4. Man verbinde die isolierte Metallkugel A (Fig. 2) mit dem negativen Pol der Elektrisiermaschine, daneben wie früher die isolierte Bunsen-

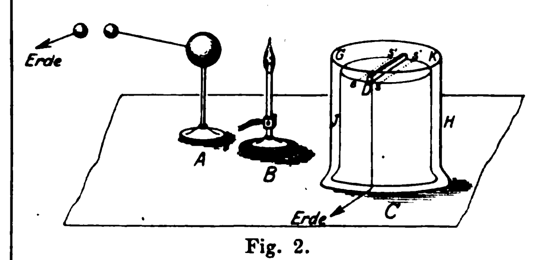


Fig. 2.

flamme B und dahinter eine wagerechte isolierte Glasplatte (den Boden eines umgestülpten Becherglases). Auf diese legt man einen vierkantigen geerdeten Metallstab D und bestreut sie mit Eisenstaub oder noch besser mit Kohlepulver. Sobald die Ladung der Kugel A beginnt, zieht sich die Flamme in der Richtung AC nach beiden Seiten auseinander; der Staub fliegt reichlich gegen die Flamme hin und erzeugt durch sein Glühen eine sehr auffällige Erscheinung. Die Hauptmenge des Staubes aber bewegt sich teils von beiden

Seiten gegen den Stab *D* hin, um sich darunter anzusammeln, teils gegen Linien (*SS'*), die in regelmäßigen Abständen parallel zu *D* verlaufen und den Eindruck einer Interferenzerscheinung machen. Die Staublinien *SS'* erweisen sich bei Prüfung mit einem Elektroskop als negativ elektrisch. Selbst wenn man die Platte *C* mit einem größeren Becherglas überdeckt, dauert die Wirkung fort; auch ein Beweis, daß es sich nicht um Ionen, sondern nur um Elektronen handeln kann. Die gegen den Eisenstab *D* prallenden Elektronen werden zum Teil zurückgeworfen und geben so zur Bildung von Interferenzerscheinungen Anlaß. An der Innenwand des übergestülpten Becherglases in der Richtung *AN* sieht man Staubteilchen kleben, ein deutliches Zeichen, daß der Staub zuerst negativ elektrisch wurde und dann gegen die Flamme hinflog.

5. Die Durchdringungskraft der Elektronen zeigen auch Versuche mit einem metallenen Hohlspiegel (Fig. 3). Stellt man einen solchen isoliert auf und setzt an die konkave Seite einen Brenner *B* und eine mit dem negativen Pol der Elektrisiermaschine verbundene Konduktorkugel *D* auf, so zeigt ein Elektroskop *C* auf der anderen Seite des Hohlspiegels eine lebhafte Strahlung an. Daß diese nicht von einer induzierten Ladung des Spiegels herrühren kann, geht daraus hervor, daß bei direkter Ladung des Spiegels (Verbindung mit einem Pol der Maschine) ein Elektro-

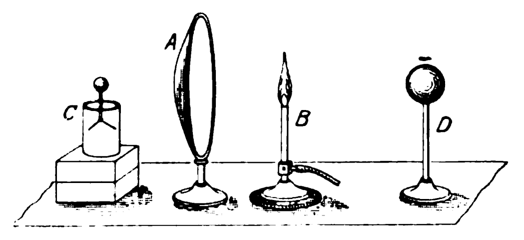


Fig. 3.

skop in der Stellung *C* keine Strahlungswirkung anzeigt, denn ein entstehender Ausschlag verschwindet in genügender Entfernung wieder, während das Elektroskop an der Konkavseite durch die von der Flamme ausgehenden Elektronen auf mehrere Meter Entfernung dauernd geladen wird. Weitere Versuche wolle man ebenfalls im Original nachlesen. *P.*

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Hauptsätze der Lehre von den flüssigen Kristallen. Der Entdecker dieser wichtigen Gebilde, O. Lehmann, hat die Hauptsätze ihres Verhaltens in der *Physikal. Zeitschr. 1918, 73 u. 88* neu zusammengestellt. Ihr Bestehen läßt sich nicht mit der alten Ansicht von der Unveränderlichkeit der Moleküle in den drei Aggregatzuständen in Einklang bringen. Man dachte sich früher die gleichen Moleküle in den Flüssigkeiten regellos gelagert, in den Kristallen zu einem anisotropen Gebäude, einem Raumgitter, fest zusammengefügt. Das tatsächliche Bestehen flüssiger Kristalle nötigte aber dazu, die bisherige „Identitätstheorie" durch die „Theorie der molekularen Isomerie" zu ersetzen.

Beim Ammoniumnitrat entdeckte O. Lehmann fünf polymorphe Modifikationen, die sich bei den „Umwandlungstemperaturen" (— 16°; 32,4°; 82,8°; 125,6°) in beiden Richtungen ineinander verwandeln, ganz ähnlich, wie bei einer ganz bestimmten Dissoziationstemperatur eine an Kristallwasser reiche Substanz in wasserärmere und in Wasser zerfällt, und wie umgekehrt beim Abkühlen bei derselben Temperatur wieder die wasserreichere Substanz entsteht. Die polymorphen Modifikationen bestehen nicht aus denselben Molekülen in verschiedener Raumgitteranordnung, sondern sie sind molekular (physikalisch) isomere Verbindungen. Derartige Verbindungen unterscheiden sich von atomistischen nur durch geringere Festigkeit, auch besteht zwischen beiden Arten keine scharfe Grenze. Der Erstarrungspunkt einer Schmelze ist als der Sättigungspunkt der Lösung der betreffenden festen Modifikation aufzufassen; eine überkühlte Schmelze ist eine übersättigte Lösung. Amorphe (glasartige) Stoffe sind stets Gemenge von mindestens zwei verschiedenen Molekülarten.

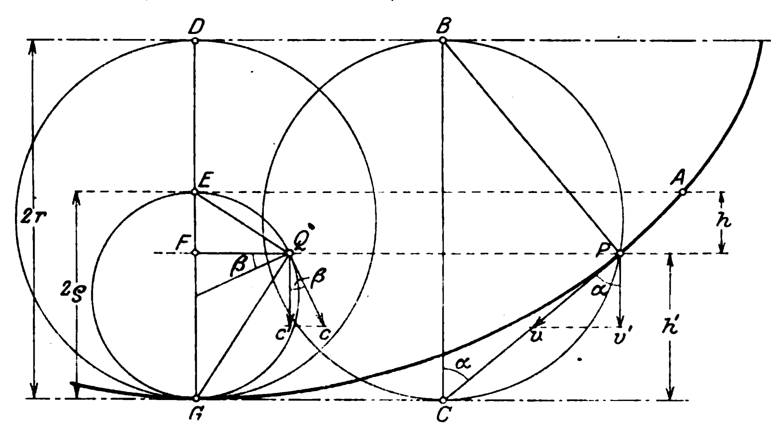
O. Lehmanns Versuche ergaben weiter, daß auch nichtisomorphe Stoffe im Kristall bestehen können. Salmiak nahm Eisenchlorid bis zu dunklerer Färbung, im Vergleich zur Lösung auf. Dichroismus erwies dabei die regelmäßige Orientierung der Beimengung. Unregelmäßigkeiten der Formbildungen änderten den gleichmäßigen Verlauf der Auslöschungsrichtungen zwischen gekreuzten Nicols nicht. Plastische Deformationen, z. B. an Kristallen von Ammoniumnitrat änderten weder die Durchsichtigkeit, noch die Löslichkeit an besonderen Stellen. Die Molekülachsen mußten nach dem optischen Befunde ihre Lagen zu den gebogenen Kanten bewahrt haben. Die Existenz flüssiger Kristalle erschien somit nicht von vornherein ausgeschlossen, die zähflüssigen Kristalle des sauren Ammoniumoleathydrats machten ihr Bestehen noch leichter möglich. Kristalle des schleimig-flüssigen gewöhnlichen Ammoniumoleathydrats gaben endlich das erste Beispiel eines wirklichen Fundes flüssiger Kristalle. Ihre Neubildung nach dem Zerteilen erwies eine „Gestaltungskraft". Zusammenfließen, Parallelrichten dabei wurden beobachtet. Wichtig war die

stets mitwirkende Eigenschaft dieser Gebilde, an Flächen von Glas, Luftblasen u. a. sich stets so anzuschmiegen, daß die Hauptachse der Moleküle sich zur Fläche senkrecht stellt. Beschreibungen der zahlreichen, wechselnden Strukturformen, Einwirken des Magnetismus, das Selbstreinigungsvermögen dieser Kristalle, die Bildung von „Myelinformen" beim Aufquellen in Wasser, das Innenwachstum dabei usw., darüber berichten die zahlreichen Arbeiten von O. LEHMANN u. a., auf die verwiesen ist. Manche der beobachteten Bewegungserscheinungen, die Selbstteilungen, plötzliche Geradstreckungen, sowie Rückfall in die gewundenen Formen erhalten dadurch eine sehr erhöhte Bedeutung, daß sie lebhaft an ähnliche Erscheinungen bei Lebewesen erinnern. Es wird nach der Meinung des Verfassers zu untersuchen sein, inwieweit die in diesen wirkenden Kräfte verwandter Natur sind, ob, wie in den Lebewesen, im Sinne der dualistischen Theorie auch in der scheinbar toten Natur „eine Seele auslösend zweckmäßig wirkt oder ob es nach monistischer Auffassung Leben auch ohne Ernährung gibt, ob auch den gesetzmäßig zwecklos wirkenden Atomen, Elektronen und Kraftfeldern eine Seele zuzuschreiben wäre" [1]. *Rebenstorff.*

[1] Die obige Fragestellung halten wir durch die vorliegenden Tatsachen nicht für gerechtfertigt. *Die Schriftleitung.*

4. Unterricht und Methode.

Die Zykloïde als Kurve gleicher Fallzeit. In der Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich [1] zeigt A. KIEFER, daß sich die Ableitung der bekannten Zykloïdeneigenschaft in elementarer Form auf wenigen Seiten durchführen läßt. Seine Darstellung folgt dem Gedankengang von Huygens und verdient im Interesse der Schule weitere Verbreitung. In etwas veränderter Form lautet sie: Auf einer Zykloïde mit der vertikalen Achse DG mag ein Punkt



von A aus fallen. Gelangt er nach P, so hat seine Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gh}$ die Richtung PC normal zu PB; denn der rollende Kreis, mit welchem die Zykloïde definiert wird, dreht sich in diesem Augenblick um B. Gleichzeitig mit dem Punkt P bewege sich ein Punkt Q auf dem Kreis über dem Durchmesser EG derart, daß er mit P beständig in einer Horizontalen bleibt. Seine Geschwindigkeit heiße c. Denkt man sich die Bewegungen von P und von Q aus einer horizontalen und einer vertikalen geradlinigen Bewegung zusammengesetzt, so sind die vertikalen Teilbewegungen identisch. Die beiden Punkte haben daher gleiche vertikale Geschwindigkeitskomponenten $c' = v'$. Aus der Figur ergibt sich:

$$c' = c \cdot \cos\beta = \frac{c \cdot FQ}{\varrho} = \frac{c \cdot \sqrt{hh'}}{\varrho}$$

$$v' = v \cdot \cos\alpha = \frac{\sqrt{2gh} \cdot CP}{2r} = \sqrt{\frac{2gh \cdot h' 2r}{4r^2}}$$

also

$$\frac{c\sqrt{hh'}}{\varrho} = \sqrt{\frac{ghh'}{r}} \quad \text{oder}$$

$$c = \sqrt{\frac{g}{r}}\ \varrho.$$

Die Bewegung von Q ist also eine gleichförmige. Aus der bekannten Bewegung von Q lassen sich nun alle Eigenschaften der Bewegung von P herauslesen. Speziell ist die ganze Fallzeit T von A bis G gleich der Zeit, in welcher Q den Halbkreis EQG beschreibt, also

$$T = \frac{\pi\varrho}{c} = \pi\sqrt{\frac{r}{g}}.$$

Sie ist demnach unabhängig von der Lage von A. Weitere Ergebnisse findet man in der zitierten Arbeit oder bei Huygens: Die Pendeluhr [1]).

H. Schüepp, Zollikon.

[1] Jahrgang 63 (1918), S. 229.

[1] Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 192.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Von L. Graetz. Bd. I, Lieferung 3. Leipzig, Joh. Andr. Barth, 1918.

Mit dieser Lieferung liegt der erste Band des hervorragenden Werkes nunmehr vollständig vor. Über einzelne Punkte ist in dieser Zeitschrift bereits früher (vgl. 26, 198) berichtet worden. Auch die neuen Teile zeigen, daß der Herausgeber und seine Mitarbeiter mit Erfolg ihrem Ziele nachgegangen sind, die fast unübersehbare Fülle von Arbeiten über dieses Gebiet zwar kurz, aber möglichst vollständig darzustellen und kritisch zu würdigen. Daß bei einem solchen Werke eine gewisse Kenntnis des Gesamtgebietes vorausgesetzt wird, ist selbstverständlich; um ein Lehrbuch soll es sich ja nicht handeln. Immerhin ist die Frage gestattet, ob die Grenze hier immer richtig getroffen ist. Bisweilen empfindet der Leser das Bedürfnis nach etwas größerer Ausführlichkeit. Raum hierfür hätte sich schon durch Vermeidung einiger Wiederholungen gewinnen lassen. Es ist z. B. in dem Abschnitt „galvanische Elemente" die Messung der E. M. K. mittelst des Kompensationsverfahrens sehr eingehend besprochen, wiewohl sich eine nicht minder breite Darstellung, zum Teil mit Abbildungen derselben Apparate in Band II in dem Abschnitt „elektrische Messungen" findet, wo diese Ausführlichkeit auch am Platze ist.

Der Abschnitt „galvanische Elemente", von Frantz-Heidelberg verfaßt, füllt den Hauptteil der Lieferung 3 (S. 421–698). Im Mittelpunkt steht der Voltaeffekt. „Während die Berührungselektrizität zwischen Bernstein und Wolle schon im Altertum bekannt war, ... so war man sich doch darüber nicht klar, daß es sich beim „Reiben" nur um die Vergrößerung eines einfachen Berührungseffektes handelte." Für Metalle wird eine von Thomson angegebene Form des Voltaschen Grundversuchs angegeben. Der eine Schenkel eines Hufeisens besteht aus dem einen, der andere, mit dem ersten verlötet, aus dem anderen Metall. Die Öffnung bildet nur einen schmalen Spalt. Bringt man diesen über eine elektrische Nadel, parallel zu ihrer Richtung, so schlägt sie aus. — Weiterhin wird eine Menge geschichtlichen Stoffs geboten. Dafür ein Beispiel: Bohnenberger bestätigte den Satz, daß das Potential einer Säule nur von Art und Zahl ihrer Elemente, nicht aber von ihrer Größe abhängt. Leitete er aber den einen Pol einer trockenen Säule ab und verband den anderen mit einer Leydener Flasche, so erhielt sie in gleichen Zeiten Ladungen, die der Größe der Platten proportional waren. – Derartige weniger bekannte Versuche sind an zahlreichen Stellen erwähnt und geben dem Werke, neben seiner eigentlichen Bestimmung auch einen besonderen Wert für den Unterricht.

Dem allgemeinen und historischen Abschnitt folgt eine Übersicht über die gebräuchlichen galvanischen Elemente, eine kürzere über die sogenannten trockenen, eine ausführlichere über die nicht trockenen Elemente. Erwähnt sei aus diesem Abschnitt die an den „Brennstoffketten" geübte Kritik: Ihr geringer Erfolg liegt am gleichen Punkt, der für eine stärkere Heranziehung der elektropräparativen Methoden für technische Gewinnung chemischer Präparate verhängnisvoll wurde. Die elektrochemischen Reaktionen sind ihrem Wesen nach Flächenreaktionen. Benutzt man, wie üblich, stark verunreinigte Kohle, so wird bei der Arbeit des Brennstoffelements der Kohlenstoff verbraucht und die Verunreinigungen bedecken mehr und mehr die Polplatten oder verunreinigen die Schmelze. Deshalb haben die Elemente, die sich nicht der Kohle selbst, sondern des Generatorgases bedienen, mehr Aussicht auf praktische Verwertbarkeit.

Von dem folgenden, ziemlich ausführlichen Abschnitt „Messungen an galvanischen Elementen" war bereits oben die Rede. Nach einer kurzen Betrachtung über Normalelemente folgt die mit wünschenswerter Vollständigkeit hergestellte „Theorie der galvanischen Elemente". Von allgemeinerem Interesse ist auch in diesem Abschnitt u. a. die historische Übersicht. Bekanntlich hat man in bezug auf diese — wie auch auf andere — Theorien anfangs die Tragweite des Energiesatzes überschätzt und selbst Helmholtz hat in der nach ihm (und Thomson) benannten Regel den zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie unberücksichtigt gelassen. Bemerkenswert ist, daß J. R. Mayer die unvollkommene Verwandlungsfähigkeit der Wärme und die Bedeutung dieser Beschränkung für solche Vorgänge klar erkannt und qualitativ richtig dargestellt hat. Braun zeigte dann 1878 durch quantitative Betrachtungen, wie man hier vorgehen muß. Vor allem aber ist Gibbs zu nennen, der zuerst die Theorie der galvanischen Elemente von thermodynamischen Gesichtspunkten aus ganz allgemein entwickelte. Eingehender im einzelnen geschah es späterhin durch Helmholtz, allgemeiner durch Duhem und Gans. Über den zweiten Hauptsatz ging erst Nernst mit Erfolg bewußt hinaus in seinem Wärmetheorem. Die Theorie selbst und die zugehörigen experimentellen Untersuchungen sind eingehend



dargestellt, insbesondere auch, was die Abhängigkeit der E. M. K. von Temperatur, Druck und Konzentration angeht. Anhangsweise ist besprochen der Einfluß von Druck-, Spannungs- und Magnetisierungszustand einzelner Teile des Elements. Hier werden die interessanten Versuche von Des Condres, Tolman u. a. erwähnt, bei denen z. B. Quecksilberionen mit oder gegen die Schwere oder — noch stärker — gegen die Zentrifugalkraft wandern müssen, so daß durch positiven oder negativen Aufwand von Energie eine Vergrößerung oder Verringerung der E. M. K. entsteht.

Den Schluß des Abschnittes über die galvanischen Elemente bildet eine Darstellung der kapillarelektrischen Erscheinungen, den der ganzen Lieferung 3 und damit des gesamten ersten Bandes die Thermoelektrizität. Dieser Aufsatz war von K. Baedeker im Jahre 1913 im wesentlichen fertiggestellt. Der ausgezeichnete Physiker fiel als eines der ersten Opfer des Krieges. Der Herausgeber Graetz hat den Aufsatz durch Berücksichtigung der Literatur bis Ende 1916 ergänzt. Auch hier sind die experimentellen Untersuchungen über die Seebecksche, Peltiersche und Thompsonsche Grunderscheinung vorangestellt. Die alsdann folgende theoretische Behandlung schlägt einen doppelten Weg ein. Einerseits wendet sie die beiden Hauptsätze der Wärmetheorie an, die gerade bei diesem Gegenstand einen ihrer ersten großen Erfolge erzielte. Merkwürdigerweise hat die Prüfung der auf diesem Wege hergeleiteten Sätze noch nicht zu einer vollständigen Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie geführt. Soweit es sich um den ersten Hauptsatz handelt, sind die Abweichungen auf Beobachtungsfehler zurückzuführen. Bei dem zweiten können außer solchen Fehlern auch irreversible Vorgänge eine Rolle spielen, so daß statt der Gleichung $\Sigma \frac{Q}{T} = 0$ nun die Ungleichung $\Sigma \frac{Q}{T} < 0$ tritt. Da indes Abweichungen von der Umkehrbarkeit nicht einwandfrei festgestellt sind, behält der Verfasser diese Voraussetzung bei und erhält so eine einfache Formulierung der thermodynamischen Ansätze.

Andererseits ist ein weiterer Ausbau der Theorie nur möglich auf Grund speziellerer Annahmen. Als solche wird in den letzten Abschnitten die Elektronentheorie in den Formen behandelt, die Riecke und andere ihr gegeben haben und ferner die „Elektronendampfdrucktheorien" der Thermoelektrizität von Richardson, Baedeker und Krüger, die von der Elektronenemission erhitzter Leiter ausgehen.

Der gesamte Inhalt des ersten Bandes wird vom Herausgeber unter der Bezeichnung „Elektrizitätserregung und Elektrostatik" zusammengefaßt. Von den anderen vier Bänden sind einzelne Teile bereits erschienen. Daß die durch den Krieg stark verzögerte Fertigstellung nunmehr schnell erfolgen soll, ist sehr erfreulich.

Spies.

Einführung in die theoretische Physik mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. Von A. Haas. I. Bd. Leipzig, Veit & Co. 1919. VII u. 384 S. mit 50 Fig.

Der erste der beiden geplanten Bände des ganzen Werkes liegt vor. Er behandelt Mechanik, Elektrizität und Magnetismus, Optik und Elektronentheorie. Der zweite Band soll Wärmelehre, Atomistik, Quanten- und Relativitätstheorie enthalten. Eine einheitliche Gesamtdarstellung des ganzen Gebiets der theoretischen Physik soll gegeben werden; alles hierfür nicht Notwendige wird weggelassen, so Untersuchungen von mehr technischer Bedeutung (Wechselströme, Elastizität) und solche von mehr mathematischer als physikalischer Natur (Wärmeströmung im II. Bd.). Aber auch Anwendungen und Beispiele haben leider nur in sehr beschränktem Maß Platz gefunden.

Die Darstellung ist außerordentlich klar und übersichtlich. Der Leser, bei dem nichts als die Elemente der Infinitesimalrechnung vorausgesetzt wird, wird leicht und sicher in alle Gebiete der modernen theoretischen Physik eingeführt und mit den Hauptergebnissen bekannt gemacht. Sehr angenehm für den Leser ist die starke Berücksichtigung des geschichtlichen Moments und die Einfügung zahlreicher historischer Hinweise. Zur Wiederholung sowohl wie zur kurzen Einführung in die Probleme der theoretischen Physik ist das Buch jedem Lernenden und Lehrenden (z. B. auch dem Lehrer an höheren Schulen) warm zu empfehlen. Vielleicht wäre es manchem Leser erwünscht, wenn die — keineswegs grundsätzlich weggelassenen — Literaturangaben noch etwas zahlreicher wären.

Ernst Lamla.

Vorlesungen über technische Mechanik in 6 Bänden. Von A. Föppl. I. Bd.: Einführung in die Mechanik. 5. Aufl. Leipzig, Teubner, 1917. XVI u. 431 S. mit 104 Figuren im Text.

1898 ist die erste, 1917 bereits die fünfte Auflage des vorliegenden I. Bandes erschienen. Diese Tatsache ist die allerbeste Empfehlung des in Fachkreisen allgemein bekannten und geschätzten Buches. Es ist für den angehenden Techniker bestimmt; doch ist zu wünschen, daß auch der Student der Physik, vor allem der angehende Lehrer, gerade diesen I. Band, der noch nicht die speziellen technischen Fragen behandelt, zur Hand nehme. Für den späteren Unterricht ist es von Vorteil, wenn man die Probleme

der Mechanik auch einmal mit den Augen des Technikers betrachtet hat. *Ernst Lamla.*

Theorie der Elektrizität. Von Abraham-Föppl. I. Band: Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität. Von A. Föppl. 5. Aufl., herausgegeben von M. Abraham, Leipzig, Teubner 1918. XIV u. 400 S. mit 11 Figuren.

Das Buch, dessen vorliegende 5. Auflage im wesentlichen einen unveränderten Abdruck der vorhergehenden darstellt, ist in allen Fachkreisen so allgemein bekannt und geschätzt, daß es irgend einer Empfehlung nicht mehr bedarf. Der Physiker wie der Elektroingenieur werden es in gleicher Weise mit Erfolg zur Einführung in die Theorie der Elektrizität und zugleich, worauf nochmals hingewiesen sei, zur Einführung in die Vektorrechnung benutzen. *Ernst Lamla.*

Die Differentialgleichungen des Ingenieurs. Von W. Hort. Berlin, J. Springer, 1914. IX und 540 S. mit 255 Textfiguren.

Nach einem einleitenden Kapitel über Integration sowie über die Planimeter und Integraphen, die ausführlich beschrieben werden, gibt Verf. eine eingehende Darstellung der Behandlung von gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen. Das Buch ist nicht für den „reinen“ Mathematiker bestimmt. Existenzbeweise fehlen ebenso wie manche schwierigeren mathematischen Herleitungen und Beweise. Der Praktiker dagegen findet gerade das, was er in mathematischen Lehrbüchern oft vergeblich sucht: Eine zusammenhängende Behandlung fast aller „physikalischen“ Differentialgleichungen. Neben dem Ingenieur, dem das Buch in erster Linie zugedacht und dem es aufs wärmste zu empfehlen ist, wird der Physiker es mit großem Nutzen zur Hand nehmen.

Die ziemlich zahlreichen Druckfehler stören zuweilen. *Ernst Lamla.*

Leitfaden der magnetischen Messungen. Von Ernst Gumlich. VIII u. 228 S. 82 Abb 6 Tafeln. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, 1918, M. 12,—, geb. M. 14,40.

Von denjenigen magnetischen Messungen handelt das Buch, durch die man die magnetischen Eigenschaften des Eisens und der elektrotechnisch wichtigen Legierungen ermittelt. Wer Veranlassung gehabt hat, die geradezu verzweifelten Bemühungen der Erstlinge in dieser Meßkunst kennen zu lernen, der staunt, bis zu welcher Feinheit diese Messungen jetzt entwickelt sind, der hat aber auch Verständnis für die bis ins kleinste gehende Gründlichkeit des Verfassers und freut sich daran, denn er weiß, daß diese Messungen in einem ganz außergewöhnlichen Grade umsichtigste Vorbereitung, peinlichste Durchführung und kritische Wertung verlangen.

Der Verfasser behandelt mit besonderer Berücksichtigung der in der physikalisch-technischen Reichsanstalt verwendeten Methoden und Apparate in drei Hauptabschnitten die magnetometrischen, ballistischen und wattmetrischen Methoden. Den Sättigungswerten und den reinen Hysteresisverlusten sind zwei weitere Abschnitte gewidmet. Auf 45 Seiten und 6 großen Tafeln werden die magnetischen Eigenschaften der ferromagnetischen Stoffe übersichtlich dargestellt. Für den Praktiker ist das Buch unentbehrlich, denn die früheren sind bei den raschen Fortschritten der letzten Jahre veraltet.

Nicht ganz auf der Höhe der übrigen Abschnitte steht der einführende, der die magnetischen Grundbegriffe darstellt. Für den elektrotechnisch Geschulten ist er entbehrlich; wer aber in anderer Weise über Magnetismus belehrt worden ist, der braucht schon einen kräftigeren Stoß, um auf den rechten Weg zu kommen; und wer noch ganz unkundig ist, hat eine ausführlichere und an einigen Stellen schärfer gefaßte Einleitung nötig.

Den Schulbüchern und dem Schulunterricht liegt der Gegenstand des Buches fern. Leider! Ein wenig davon gehört durchaus in den Unterricht hinein. Dieses völlige Bedingtsein aller auffälligen Zeichen des augenblicklichen Zustandes durch die Vergangenheit, dieses Verstecktsein des Wesentlichen und Bleibenden unter viel Unwesentlichem und Vergänglichem sind äußerst lehrreich. Hier muß die exakte Wissenschaft am einfachsten Gegenstand Geschichte treiben, nämlich der in der Gegenwart wirksamen Vergangenheit nachspüren. *W. Vn.*

Mißerfolge in der Photographie und die Mittel zu ihrer Beseitigung. Von Hugo Müller. Erster Teil, Negativverfahren. Vierte, verb. u. verm. Auflage. 113 S. 4 Textfig. 8 Tafeln. Halle, Wilhelm Knapp, 1913. M. 2,—.

In dem kurzen optischen Teil finden sich einige Unrichtigkeiten. Im übrigen ist das Buch zu empfehlen, wie ja auch die Zahl der Auflagen zeigt, daß es seinen Zweck ganz gut erfüllt hat und ein Bedürfnis für diese Anleitung besteht. *W. Vn.*

Beiträge zur praktischen Ausführung von Ankerwicklungen. Von W. Wolf. Dritte, umgearbeitete Auflage. 92 S. 143 Abb. Leipzig, Hachmeister u. Thal, 1917.

Verf. hat zahlreiche Beschreibungen und Abbildungen, vielfach aus der Patentliteratur, zusammengetragen, die sich auf die Form und Herstellung von Ankerwicklungen und die dazu nötigen Hilfseinrichtungen usw. beziehen. Kritischer Bemerkungen enthält er sich, daher wird das Buch dem Anfänger kaum gute Hilfe bieten.

Auch für den Physiklehrer kann das Buch nicht zur Orientierung dienen, ihn würde es nur verwirren. Der erfahrene Fachmann wird gewiß manches brauchen können, aber die Quellennachweise schmerzlich vermissen. *W. Vn.*

Die elektrischen Spielzeug- und Kleinmaschinen für Gleich- und Wechselstrom. Von Karl Moritz. Zweite, neu bearbeitete Auflage. 104 S. 103 Abb. 2 Tafeln. Leipzig, Hachmeister u. Thal, 1917. M. 2,60 kart.

In dem Büchlein sind zahlreiche Kleinmotoren, Kleindynamos, Spielzeugmaschinen, kleine Transformatoren und Wechselstrommotoren eingehend beschrieben. Vielfach ist die ganze Berechnung durchgeführt, auch der Arbeitsplan und die Kostenberechnung für Massenherstellung aufgestellt. Die verschiedensten Fabrikate werden als Beispiele angeführt, in ihren Einzelheiten kritisch besprochen, mehrfach andere Vorschläge gemacht und ganze Neuentwürfe des Verfassers angeschlossen. Das Buch, das wohl das erste seiner Art ist, macht einen durchaus günstigen Eindruck. *W. Vn.*

Das Polarisationsmikroskop. Von Ernst Weinschenk. Vierte verbesserte Auflage. VIII u. 172 S. Freiburg i. B., Herder, 1919. Geb. M. 9,—.

Die bisherige „Anleitung zum Gebrauch des Polarisationsmikroskopes" (erste Aufl. 1901) ist durch eine Anzahl anschaulicher Abbildungen weiter bereichert und auch im Text an vielen Stellen verbessert. Für den Unterricht sind besonders die übersichtlichen Schemabilder des Strahlenganges und der Schwingungsrichtungen bemerkenswert, die leicht nachzuzeichnen sind. Der reiche Inhalt des Buches kommt besonders dem zugute, der sich, etwa in seinen Mußestunden, mit den reizvollen Erscheinungen eingehender zu beschäftigen vermag. Die Beschreibung der Instrumente und Arbeitsmethoden ist dem Anfänger angepaßt und durch gut gewählte Abbildungen unterstützt. Anhangsweise, aber doch etwas zu knapp, ist auch die Projektion der Erscheinungen behandelt. *W. Vn.*

Naturwissenschaftliche Vorträge im Felde gehalten. 1. Chemische Industrie im Kriege. Von R. Lorenz, Prof. an der Universität Frankfurt a. M. 207 S. Geb. M. 8,60. — 2. Neuere Entwicklung der Physik und ihrer Anwendungen. Von W. Wien. 116 S. Geb. M. 6,—. — 3. Der Kreislauf der Energien in Natur, Leben und Technik. Von J. Obermiller, Privatdoz. an der Universität Basel. 68 S. Geb. M. 3,60. — Leipzig, Verlag von Joh. Ambr. Barth, 1919.

1. Das Buch von Lorenz ist aus einem Hochschulkurs zu Bukarest 1918 hervorgegangen und bietet ein vorzügliches Bild von der Entwicklung der deutschen chemischen Industrie von den ersten Anfängen an, verschweigt auch nicht, daß seit langem England der Neider war und daß an dessen blühender chemischen Großindustrie Deutschland seit Jahrhunderten durch auswandernde deutsche Chemiker und Gewerbetreibende einen erheblichen Anteil hatte. In überzeugender Weise wird nachgewiesen, daß die deutsche chemische Großindustrie sich aus dem Geiste der Wissenschaftlichkeit heraus entwickelte, während die englische von vornherein aus einem reinen Unternehmertum geboren war. Besonders fesselnd wirkt die Schrift dadurch, daß das geschichtliche Moment so stark betont ist; sie ist aufs wärmste zu empfehlen.

2. Die Schrift des Entdeckers der Kanalstrahlen, die sich in die drei Vorträge „Neuere Errungenschaften der Physik, Physik und Erkenntnistheorie, Physik und Technik" gliedert, wird Physikern wie Nichtphysikern gleich willkommen sein, denn sie gibt nicht nur eine treffliche bis in ziemliche Tiefen gehende zusammenfassende Schilderung der letzten Entwicklungsperiode der Physik, wobei besonders die Elektronentheorie näher bedacht ist, sondern setzt sich auch in geistvoller Weise mit der Relativitätstheorie, insbesondere mit Mach auseinander, dessen Gedankengängen die Schrift weitgehend folgt. Der dritte Vortrag, in welchem die drahtlose Telegraphie und Telephonie, die elektrische Beleuchtung, die neuen Strahlengattungen mit ihren Anwendungen, die deutsche Glasindustrie u. a. behandelt sind, kann ebenfalls des Beifalles weiter Kreise gewiß sein.

3. Die Schrift von Obermiller, einem Hochschulkurs in Brüssel 1918 entstammend, behandelt nach theoretischen Erörterungen über das mechanische Wärmeäquivalent und die Umwandlung der Energieformen, die modernen Kraftquellen, Gasmotor, Ölmotor, Dieselmotor, Kältemaschine, Bleiakkumulator, ferner die natürlichen Energiequellen, die Sonnenenergie und das Problem ihrer Fixierung, die Kohlen, auch das Wasser als die „weiße Kohle" und kennzeichnet dann die Haupt-Lebensvorgänge von Pflanze und Tier, womit sie das große Gebiet des Organischen betritt, aus dem noch ungemein viel Wertvolles geboten wird. Eine erstaunliche Reichhaltigkeit ist das Hauptkennzeichen dieser verhältnismäßig kurzen, höchst lesenswerten Schrift.

Allen drei Schriften ist sofort anzumerken, daß sie nicht am Schreibtisch entstanden sind, sondern aus dem Quell lebendigen, durch Kriegseindrücke noch geläuterten Wissens hervorgesprudelt sind. Mögen sie einen recht großen Leserkreis finden. *O. Ohmann.*



Himmelserscheinungen im August und September 1919.

12^h = Mittag, 0^h und 24^h = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ − $0,1^h$.)

MEZ 12^h		August 4	9	14	19	24	29	September 3	8	13	18	23	28
☿	AR	$9^h 57^m$	9.48	9.34	9.19	9.13	9.19	9.37	10.6	10.39	11.14	11.48	12.21
	D	8^0	8	10	11	13	15	14	13	10	7	3	−1
♀	AR	$11\ 25^m$	11.33	11.38	11.40	11.39	11.35	11.27	11.17	11.6	10.56	10.47	10.42
	D	1^0	−1	−3	−4	−5	−5	−5	−5	−4	−2	−1	+1
☉	AR	$8^h 54^m$	9.13	9.32	9.51	10.9	10.28	10.46	11.4	11.22	11.40	11.58	12.16
	D	$17,5^0$	16,1	14,6	13,0	11,4	9,6	7,8	6,0	4,1	2,2	0,2	−1,7
♂	AR	$7^h 18^m$	7.32	7.46	7.59	8.13	8.26	8.39	8.52	9.5	9.18	9.30	9.42
	D	23^0	23	22	22	21	20	20	19	18	17	16	15
♃	AR		$8^h 16^m$		8.25		8.33		8.42		8.49		8.57
	D		20^0		20		19		19		18		18
♄	AR	$10^h 7^m$						10.21					
	D	13^0						12					
Sternzeit [1]		$8^h 47^m$ 50^s	9.7. 33	9.27. 16	9.46. 59	10.6. 42	10.26. 24	10.46. 7	11.5. 50	11.25. 33	11.45. 15	12.4. 58	12.24. 41
Zeitgl.		$6^m 1^s$	5.30	4.43	3.43	2.31	1.8	− 0.24	− 2.3	− 3.47	− 5.33	− 7.18	− 9.1
Breite von Berlin. Ortszeit. Mittelpunkt von ☉ und ☾													
☉	Aufg.	$4^h 24^m$	4.32	4.40	4.49	4.57	5.6	5.14	5.22	5.31	5.39	5.47	5.56
	Untergang	$19^h 46^m$	19.37	19.27	19.17	19.7	18.55	18.44	18.33	18.21	18.9	17.57	17.45
☾	Aufg.	$14^h 2^m$	18.4	20.7	22.57	3.35	9.35	14.38	17.25	19.32	—	5.1	10.36
	Untergang	$22^h 41^m$	1.56	8.6	14.32	18.4	19.49	22.45	3.10	9.48	15.4	17.12	19.15

[1] Im Stargarder Meridian.

Herbstanfang. MEZ. September 24, 3^h. — **Venus** im größten Glanz: August 9.

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	Juli 27, $6^h 21^m$	Aug. 3, $21^h 12^m$	Aug. 11, $18^h 40^m$	Aug. 18, $16^h 56^m$
	Aug. 25, $16^h 37^m$	Sept. 2, $15^h 22^m$	Sept. 10, $4^h 54^m$	Sept. 16, $22^h 32^m$
	Sept. 24, $5^h 34^m$	Okt. 2, $9^h 37^m$		

Der **Mond** tritt an folgenden Tagen (MEZ) in die abgerundeten **Sternbilder** des **Tierkreises**:

Sternbild / Länge	W 25^0	S 55^0	Z 85^0	K 115^0	L 145^0	J 175^0	Wg 205^0	Sp 235^0	Sz 265^0	Sb 295^0	Ws 325^0	Fs 355^0	
Juli						31 .	2	5	7	10	12	14	August
August	16	18	20	23	25	27	29	. 1.	3	6	8	10	Sept.
Sept.	12	14	17	19	21	23	26	28 .	1				Okt.

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	☿ Dämm. Stufe 10^0 Morgenstern
VIII 25	$3,8^h$
29	A $3,5^h$ D $4,0^h$
IX 8	A $3,9^h$ D $4,3^h$
13	$4,4^h$

Tag	♀ Dämm. Stufe $6\frac{1}{2}^0$ Abendstern	♂ (Zwill., Krebs) (11^0) vorm.	♃ (Krebs) (10^0) vorm.	♄ (Löwe) (11^0) vorm.
VII 20	D $9,0^h$ U $9,7^h$	2,3		
VIII 9	$8,4^h$	A 2,1 D 3,1	(VIII 9, 3,2)	
29	Morgenstern	A 2,0 D 3,8	A 2,3 D 4,0	(IX 7, 4,2)
IX 18	(IX 21, $5,1^h$)	A 1,9 D 4,5	A 1,3 D 4,6	A 3,7 D 4,5
X 8	A $3,4^h$ D $5,6^h$	A 1,8 D 5,1	A 0,3 D 5,2	A 2,6 D 5,1

A = Aufgang; U = Untergang; D = Dämmerung.

M. Koppe.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXII. Jahrgang. Fünftes Heft. September 1919.

Über Selbstinduktion.

Von Dr. K. Schütt in Hamburg.

Für das Verständnis der Wirkungsweise des Funkeninduktors, der Vorgänge im Wechselstromkreise, der Kondensatorschwingungen und der drahtlosen Telegraphie ist die Selbstinduktion von grundlegender Bedeutung. Dieser Tatsache wird nach meinen Erfahrungen im Unterricht meistens nicht in ausreichender Weise Rechnung getragen. Die Besprechung des Funkeninduktors gibt Gelegenheit, auf die Extraströme und ihren Einfluß auf die Induktionserscheinungen in der sekundären Spule hinzuweisen. Die Selbstinduktion erscheint dem Schüler als eine unbequeme, störende Erscheinung, deren Nachteile man wenigstens für den Öffnungsstrom durch Parallelschalten eines Kondensators zur Funkenstrecke beseitigen kann. Die Selbstinduktion wird in der Weise eingeführt, daß man vom Induktionsgesetz ausgehend, darauf hinweißt, daß beim Öffnen und Schließen des Stromes die aus der Spule herausquellende bzw. in sie zurücksinkenden Kraftlinien die Windungen schneiden und in ihnen eine E.M.K. induzieren, deren Richtung sich aus der Lenzschen Regel oder nach der Induktionsregel ergibt [1]). Bei dieser Darstellung bleibt es unverständlich, daß auch in gerade ausgespannten Drähten Extraströme auftreten. Die Hilfsvorstellung, den Draht in eine Anzahl paralleler Drähte, die jeder einen Teil des Gesamtstroms befördern, zu zerlegen, ist etwas gezwungen und für den Schüler nicht befriedigend. Der weitere viel schwerer wiegende Nachteil dieser Darstellungsart ist der, daß es nicht möglich ist, die elektrischen Schwingungen und die hierbei stattfindenden periodischen Energieverwandlungen zu verstehen. Der wertvolle Vergleich der elektrischen mit Pendelschwingungen läßt sich nicht befriedigend durchführen, da der Schüler nicht weiß, daß der Vorgang der Selbstinduktion auf eine Umwandlung von Stromarbeit in potentielle magnetische Energie beruht. Er ist gewohnt, bei einem Strome, der einen Leiter durchfließt, nur an die irreversible Energieverwandlung im Leiter (Joulesche Wärme), also an das, was die Schwingungen dämpft, zu denken und nicht an die reversible Aufspeicherung von magnetischer Feldenergie.

Ich halte es daher für vorteilhafter und sachlich richtiger, wenn man auf einem anderen Wege die Selbstinduktion einführt, indem man energetische Betrachtungen voranstellt und erst im Anschluß hieran von den elektromotorischen Gegenkräften spricht. Das Verfahren sei im folgenden skizziert: Nach Faraday sind im Felde eines Magneten Zug- und Druckspannungen, wie sie auch im Innern deformierter elastischer Körper auftreten, wirksam. Die Kraftlinien geben uns Auskunft über die Richtung der Kräfte (Zug in Richtung der Kraftlinien, Druck quer zu ihnen, Vergleich mit gespanntem Gummischlauch), ihre Dichte über die Feldstärke. Wie in jeder gespannten Feder ein bestimmtes Quantum potentieller Energie steckt, das beim Dehnen von außen hineingebracht und beim Zurückschnellen der Feder wieder nach außen abgegeben wird, so enthält auch das magnetische Feld

[1]) Von den zahlreichen Büchern, die ich daraufhin durchgesehen habe, bringen alle diese Darstellung, einige wenige (Ebert, Magnetische Kraftfelder; Grimsehl, Lehrbuch der Physik; Poske, Naturlehre) neben dieser auch die energetische (die beiden ersteren ausführlich), jedoch an zweiter Stelle.

potentielle Energie. Fließt durch einen Leiter ein Strom, dann ist in seiner Umgebung ein magnetisches Feld nachweisbar, dessen Kraftlinien ihn in konzentrischen Kreisen umgeben und dessen Stärke von der Stromstärke i_0 abhängt. Beim Einschalten des Stromes wandert ein Teil der dem Leiter zugeführten elektrischen Energie ins Feld, um hier als magnetische Energie aufgespeichert zu werden. Hat der Strom seine volle Stärke i_0 erreicht, dann treten im Felde keine Änderungen mehr auf, die Energiezufuhr hört auf. Ein bestimmter Betrag von Wattsekunden steckt jetzt im Felde. Seine Erhaltung erfordert ebensowenig Energie, wie das Festhalten einer gespannten Feder oder eines gehobenen Gewichtes. Von jetzt an dient also die zugeführte elektrische Arbeit lediglich dazu, den Widerstand des Leiters zu überwinden, also die in ihm entwickelte Wärme W aufzubringen, wo $W = i^2 R \cdot t$ ist; es ist Stromarbeit $A\,(= e\,i\,t) = W$. Zu dieser bei konstantem Strom geleisteten Arbeit W kommt beim Einschalten für jedes Zeitelement der Betrag M, der ins Feld wandert, um dieses aufzubauen, so daß man als allgemeine Gleichung für den Stromschluß erhält

$$A = W + M \tag{1.}$$

Hat die Stromstärke den Wert $i_0 = \frac{v}{R}$ erreicht, dann wird M gleich 0, da ja das magnetische Feld jetzt seine volle Stärke erreicht hat und keine weitere Energie mehr aufnimmt; sein Energieinhalt ist M_0. Dieselben energetischen Verhältnisse liegen vor, wenn es sich darum handelt, durch Arbeitsleistung einen Körper von der Masse m (z. B. das Wasser in einer Leitung beim Öffnen des Hahnes) auf die Geschwindigkeit v_0 zu bringen. Bevor diese erreicht ist, nimmt die Masse Energie in sich auf und steigert ihren Energieinhalt, der in diesem Fall Bewegungsenergie ist, während ein weiterer Teil der zugeführten Arbeit bei Überwindung der Reibung in Wärme verwandelt wird. Bei der Endgeschwindigkeit v_0 steckt das Quantum kinetischer Energie $\left(\frac{m}{2} v_0^2\right)$ im bewegten Körper und beansprucht, da es sich nun nicht mehr ändert, keine weitere Energiezufuhr (die Masse ist nur so lange träge, als sie beschleunigt wird, für die gleichförmige Bewegung spielt die Masse keine Rolle, sie kommt nicht in den Gleichungen vor), während von jetzt an dauernd ein konstanter Betrag in der Zeiteinheit in Wärme transformiert wird und durch die Energiequelle nachgeliefert werden muß. Wie die bewegte Masse nun beim Abschalten der Energiezufuhr ihre Wucht wieder herausgibt und sich mit abnehmender Geschwindigkeit weiter bewegt, so wandert beim Ausschalten des Stromes, wenn das magnetische Feld zusammenbricht, die in ihm aufgespeicherte Energie in den Leiter zurück. Dieser empfängt aus dem Felde plötzlich das Energiequantum M_0, die Folge ist, daß der Strom — als Extrastrom — noch weiter fließt. Wir haben den Eindruck, als wenn die Elektrizität (die Elektronen) in ihren Bewegungen träge sind; ist sie in Bewegung, dann sucht sie diese Bewegung beizubehalten. Daß beim Öffnen infolge der in die Leitung hineinschießenden Energie sehr hohe Spannung — viel höher als die vorher wirkende v — auftreten können, wird verständlich, wenn man bedenkt, daß die elektrische Energie sich aus drei Faktoren (Spannung, Stromstärke und Zeit) zusammensetzt, von denen einer auf Kosten der anderen groß werden kann.

Aus diesen Betrachtungen geht hervor, daß es nicht gelingen kann, den Schließungsextrastrom außerhalb der Spule nachzuweisen, er macht sich nur durch das Verschwinden von elektrischer Energie, also durch eine scheinbare Erhöhung des Widerstandes und ein allmähliches Ansteigen der Stromstärke bis zum vollen Betrag i_0 bemerkbar. Den Öffnungsstrom dagegen kann man aus der Spule herausholen.

Das im Innern einer eisenfreien Spule erzeugte Feld hängt außer von der Stromstärke i_0 von der Zahl n der Windungen und ihrer Anordnung ab; wird z. B. n verkleinert oder die Spule durch Auseinanderziehen ihrer Windungen verlängert, so wird das Feld schwächer. Zahl und Anordnung sind für eine gegebene Spule

eine Konstante, die man als Selbstinduktionskoeffizienten L bezeichnet. Auch die magnetische Energie M_0, welche die Spule beim Stromschluß aufspeichert, wird von i_0 und L abhängen. Es ergibt sich, daß

(2.) $$M_0 = \tfrac{1}{2} L \cdot i_0^2 \text{ ist}^{1)}.$$

Man sieht, daß die Formeln für die Energie der bewegten Masse $\tfrac{1}{2} m \cdot v_0^2$ und für die magnetische Energie auch formell übereinstimmen, indem L die Rolle der trägen Masse spielt. Liegt ein Eisenkern, dessen Permeabilität μ ist, in der Spule (die Masse m bewegt sich in einem sehr zähen Medium, so daß sie einen Teil des Mediums mitführt, wodurch ihre Trägheit vergrößert wird), dann ist die Feldstärke und damit auch L und M_0 μ mal so groß.

Um zu untersuchen, wie sich die Verhältnisse bei Stromschluß und Öffnung in einer Spule vom Widerstande R, an deren Enden die Spannung v liegt, gestalten, geht man von Gleichung (1.) aus. In der Zeit dt ist die angeführte elektrische Energie $A = i \cdot v \cdot dt$, die in der Spule entwickelte Wärmemenge $W = i^2 \cdot R \cdot dt$ und die ins Feld hinauswandernde und sich dort aufspeichernde Energie $M = d\,(\tfrac{1}{2} L i^2) = i\,L\,di$. Man erhält aus (1.) die Gleichung:

$$i\,v\,dt = i^2 \cdot R \cdot dt + i\,L \cdot di$$

$$v = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} \text{ od}$$

(3.) $$v - i\,R - L\frac{di}{dt} = 0.$$

Der Ausdruck $-L\dfrac{di}{dt}$ wirkt wie eine elektromotorische Gegenkraft, welche die Spannung v außer dem Spannungsabfall $i\,R$ überwinden muß. Man nennt sie die elektromotorische Gegenkraft (E.M.G.) der Selbstinduktion. Die Einheit des Selbstinduktionskoeffizienten[2]) L läßt sich hieraus in bekannter Weise als Henry definieren[3]). Man sieht, daß sich die gebräuchliche Auffassung der Selbstinduktion als durch Schneiden von Kraftlinien erzeugte E.M.G. jetzt als Folge der energetischen Betrachtungen ergibt.

Die Lösung der allgemeinen Stromgleichung, die für konstanten Strom ($di = 0$) zum Ohm'schen Gesetz führt, läßt sich in der Prima[4]) ohne weiteres durchführen. Zwei Wege führen zum Ziel: man differenziert nach t und erhält: $\dfrac{d^2 i}{dt^2} + \dfrac{R}{L} \cdot \dfrac{di}{dt} = 0.$ In dieser homogenen linearen Differenzialgleichung setzt man $i = e^{\alpha \cdot t}$; man erhält zur Bestimmung von α die Gleichung: $\alpha^2 + \dfrac{R}{L} \cdot \alpha = 0$ und als ihre Lösungen:

$$\alpha_1 = 0,\ \ \alpha_2 = -\frac{R}{L}.$$

Näher liegend für den Schüler ist der andere Weg, indem man Gleichung (3.) auflöst

$$d\,t = \frac{L}{v - R\,i}\,di$$

Durch Integration findet man $t = -\dfrac{L}{R}\,ln\,(v - R\,i) + C_1$. Da zur Zeit des Strom-

[1]) Ableitung s. Grimsohl, Lehrbuch der Physik. Leipzig 1909. S. 916.

[2]) Der unbequeme lange Name läßt sich nicht vermeiden, da das von Ebert dafür gebrauchte Induktanz jetzt meistens nicht für L sondern $L \cdot w = 4\,\pi\,n\,L$ verwendet wird, wo n die Frequenz des Wechselstromes bedeutet.

[3]) *Vgl. diese Zeitschrift XXXI (1918), S. 197.* F. Hochheim, Über die Selbstinduktion und Eigenfrequenz von Schwingungskreisen.

[4]) Der Verfasser steht auf dem Standpunkt, daß es wünschenswert und möglich ist, die Differential- und Integralrechnung, dieses wertvolle Hilfsmittel in Mathematik und Physik, recht frühzeitig, also schon in der Unterprima einzuführen.

schlusses $t=0, i=0$ ist, ergibt sich die Integrationskonstante $C_1 = \frac{L}{R} \cdot ln\, v$. Nach einigen Umformungen erhält man

$$(4.) \qquad i = i_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t}\right), \text{ wo } i_0 = \frac{v}{R} \text{ ist.}$$

Der Strom steigt also allmählich zum vollen Betrag i_0 an, da von i_0 ein mit zunehmendem t abnehmender Betrag abzuziehen ist, dessen Größe vom Verhältnis $\frac{R}{L}$ abhängt. Je kleiner dieser Bruch, je größer also der Selbstinduktionskoeffizient L und je kleiner der Widerstand R der Spule ist, desto langsamer steigt der Strom an. Man nennt $\frac{L}{R}$ die Zeitkonstante z der Spule; bei großem z wächst i langsam. z wird, wenn die Spule einen Eisenkern enthält, μ mal so groß. Für $t=\infty$ wird $i=i_0$.

Wird durch Kurzschließen der Spule $v=0$, dann lautet Gleichung (3) $L \cdot \frac{di}{dt} + i\,R = 0$, woraus man unter Berücksichtigung, daß für $t=0$ $i=i_0$ ist, erhält

$$(5.) \qquad i = i_0\, e^{-\frac{R}{L} \cdot t}.$$

Setzt man $t = z = \frac{L}{R}$, dann erhält man $i = \frac{i_0}{e} = \frac{i_0}{2,7}$, d. h. die Zeitkonstante gibt an, nach wie viel Sekunden die Stromstärke auf den 2,7ten Teil ihres Anfangswertes i_0 gesunken ist.

Trägt man auf der Horizontalen die Zeit, auf der Vertikalen die aus (5) berechneten Augenblickswerte von i auf, dann erhält man die bekannte Kurve in Fig. 1. Nach t_1 Sekunden hat der Strom seine volle Stärke i_0, bei B wird v gleich 0. Der Inhalt des Rechtecks $ABCD$ $\left(\int_{t_1}^{t_2} i\, d\right)$ gibt die in $t_2 - t_1$ Sekunden durch die Spule geflossene Elektrizitätsmenge in Coulombs. Multipliziert man sie mit v, dann erhält man die während dieser Zeit im Leiter geleistete Arbeit in Watt; sie wird nach Gleichung (1), da wegen Konstanz der Stromstärke $M=0$ ist, in Joulesche Wärme umgewandelt. Wäre die Spule induktionsfrei gewickelt, dann würde der Strom in ihr sofort beim Einschalten die volle Stärke i_0 (OE) annehmen, die zugeführte elektrische Energie, die gleich $i_0 \cdot t_1 \cdot v$ ($v \times$ Rechteck $OEAC$) ist, würde in Stromwärme umgesetzt. Ebenso würde zur Zeit t_2, der Strom momentan auf 0 abfallen. Hat die Spule Selbstinduktion, d. h. wandert beim Schließen in das Feld Energie hinein, dann ist die in der Spule entwickelte Stromwärme geringer, nämlich gleich $v \times$ Fläche $OAC = v \cdot \int_0^\infty i \cdot dt = v \cdot \int_0^\infty i_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t}\right) \cdot dt$. Wenn man Fläche OEA mit v multipliziert, erhält man mithin den im Felde aufgespeicherten Teil, die magnetische Energie M_0. Dieser Betrag wandert beim Kurzschließen in die Spule zurück. Wie man ohne weiteres sieht und durch Berechnung der Integrale leicht zeigen kann, sind die beiden schraffierten Flächen OEA und DBF gleich groß. Beim Öffnen gibt das Feld den Energiebetrag, der beim Schließen aus dem Draht ins Feld wanderte und daher nicht im Stromkreise arbeitete an diesen zurück; der Strom fällt langsam ab und die am Anfang fehlende Wärme wird

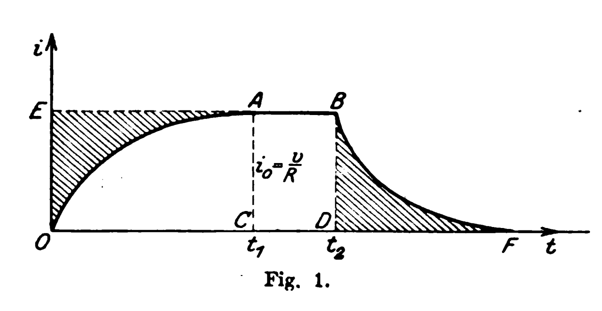


Fig. 1.

gleichsam nachgeliefert. Die eingehende Betrachtung der Kurve ist also wertvoll, da sie ein anschauliches Bild der Energieverhältnisse liefert.

Für den experimentellen Nachweis der Extraströme gibt es eine ganze Reihe hübscher Versuche [1]). Ich benutze eine Bifilarspule [2]), die mit 150 m Doppel- (Klingel-) Draht bewickelt ist, so daß sie zwei getrennte Spulen von je 150 m Länge und je 6 Ω Widerstand enthält; diese kann man durch eine auf dem Grundbrett angebrachte Stöpselschaltung so schalten, daß sie hintereinander in gleicher („Gleichschaltung“) oder in entgegengesetzter Richtung („Gegenschaltung“) vom Strome durchflossen wird. Im ersteren Fall erzeugt sie ein kräftiges magnetisches Feld und besitzt Selbstinduktion — ihr Koeffizient L ist (mit den Kohlrauschschen Universalbrüchen gemessen) 0,04 Henry. Durch Einführen eines unterteilten Eisenkerns kann die magnetische Wirkung und damit die Selbstinduktion beträchtlich gesteigert werden. In Gegenschaltung ist beides gleich 0, die Spule ist induktionsfrei. Man kann also ihre Selbstinduktion von einem hohen Wert durch allmähliches Herausziehen des Eisens erniedrigen und schließlich durch Gegenschalten auf Null bringen.

An die Spule L (Fig. 2) in Gleichschaltung schaltet man die Starkstromleitung von 110 Volt, in Nebenschluß zur Spule eine niedrigkerzige (5 HK) 110 Volt-Metalllampe G, so daß sie eben leuchtet (Regulieren durch Vorschaltwiderstand). Beim Öffnen des Schalters U leuchtet G hell auf; ist das Eisen entfernt, schwächer; nimmt man Gegenschaltung, gar nicht. Legt man bei C einen Papierkondensator ($\sim 40\,\mu F$) in die Leitung, dann hat man einen Schwingungskreis, der beim Abschalten der Spannung gedämpft ausschwingt, die Lampe leuchtet heller (nicht bei Gegenschaltung). Man legt bei D einen Wehnelt-unterbrecher in die Leitung (ohne Kondensator C) und schraubt den Platinstift so weit heraus, daß er nicht unterbricht. Der hindurchfließende Gleichstrom läßt die Lampe schwach leuchten.

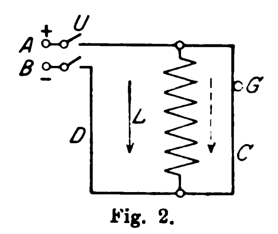


Fig. 2.

Bringt man jetzt durch Zurückschrauben des Stiftes den Unterbrecher zum Arbeiten (wegen der hohen Selbstinduktion unterbricht er langsam, tiefer Ton), dann leuchtet die Lampe wegen des Öffnungsextrastroms, der sie z. T. durchfließt (der andere Teil geht in den Unterbrecher), sehr hell auf.

Sehr augenfällig werden die Versuche, wenn man an Stelle der Metallfadenlampe eine Neon-Glimmlampe [3]) bringt und als Stromquelle drei Sammler nimmt. Beim Öffnen leuchtet die Lampe auf, jedoch nur, wenn das untere Spulenende (Fig. 2) mit ihrem positiven Pol verbunden ist. Der Versuch gibt also Aufschluß über die Richtung des Öffnungsextrastromes, ferner zeigt er, daß die E.M.G. mindestens 220 Volt beträgt bei einer Spannung des Spulenstromes von 6 Volt. Dieselben Versuche lassen sich auch mit einem Gehrckeschen Glimmlichtoszillographen ausführen; beim Öffnen überzieht sich die eine Nickelelektrode mit dem Glimmlicht. Betreibt man einen kleinen Induktor von etwa 5 cm Schlagweite mit drei Sammlern und legt den Oszillo-

---

[1]) Vgl. z. B. Grimsehl, Lehrbuch. 1. Aufl., S. 910 u. 917—919.

[2]) *Diese Zeitschr. XXVII (1914), S. 270.* K. Schütt, Versuche über Wechselströme und elektrische Schwingungen.

[3]) Die bekannte Firma J. Pintsch, Berlin bringt seit kurzem Neonlampen, und zwar Glimm- wie Bogenlampen in den Handel. Beide sind mit Neon und 25 % Helium von niedrigem Druck gefüllt. Legt man an erstere 220 Volt, so überzieht sich die halbkugelförmige Kathode, der in 1 mm Abstand die Anode gegenübersteht, mit rosafarbenem, mattleuchtendem Glimmlicht. Die Bogenlampe besitzt nach Art der Quecksilberdampflampe ein längeres Leuchtrohr mit Eisenanode und einer Kathode aus Kadmium-Thalliumlegierung. Durch den Hochspannungsstoß, den eine Spule von hoher Selbstinduktion in Verbindung mit einem Vakuumunterbrecher beim Einschalten liefert, wird die Lampe gezündet und sendet (bei 220 Volt) blendendes rosafarbenes Licht aus. Setzt man die Lampe in einen lichtdichten, mit Spalt versehenen Kasten, dann kann man den Schülern unter Benutzung eines geeigneten Beugungsgitters sehr schön und hinreichend hell das Spektrum von Neon und Helium vorführen.

graphen parallel zur Primärspule, dann leuchtet, wenn man die Sekundärpole so weit auseinander zieht, daß keine Funken überspringen, der eine Pol bei Betätigung des Unterbrechers auf. Wesentlich besser geht der Versuch, wenn man die Selbstinduktionsspule der in der Fußnote erwähnten Neonbogenlampe benutzt. Die Neonleuchtröhre nimmt man heraus und bringt an ihre Stelle ein etwa 50 cm langes Entladungsrohr, das die Schichtung des positiven Lichtes gut zeigt, also sehr weich ist. Legt man 220 Volt an, so tritt der Vakuumunterbrecher dauernd in Tätigkeit. Die Öffnungsströme der Spule bringen die Röhre zu hellem Leuchten.

Zum Nachweis der Selbstinduktion und zur Messung des Koeffizienten kann man bekanntlich auch die Wheatstonesche Brücke benutzen; sehr praktisch ist die Universalmeßbrücke von Kohlrausch[1]). Fig. 3 zeigt die Schaltung. Man verschiebt den Gleitkontakt, bis das Galvanometer G auf 0 steht. Öffnet man mittels Tasters T die zum Tauchelement E führende Leitung, dann schlägt das Galvanometer aus; der in der Spule entstehende Extrastrom gleicht sich durch die Leitungen $l_1\,G$ und $l_1\,l_2\,R$ aus. Schließt man wieder, dann zeigt sich ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite. Dieser ist nicht etwa so zu erklären, daß ein Öffnungsstrom in entgegengesetzter Richtung die oben genannten Leitungen durchfließt. Vielmehr erhöht der Schließungsstrom, da er dem Hauptstrom entgegen gerichtet ist, für einen Augenblick den Widerstand von L. Die Einstellung des Gleitkontaktes stimmt nicht für den Moment des Schließens, der Gleitkontakt müßte weiter nach rechts liegen. Daher schlägt der Zeiger aus. Schaltet man bei R eine Selbstinduktionsnormale (0,1 H) (bei der Universalbrücke nimmt man zu dem Zweck den kurzen Kupferdraht, der zwischen Vergleichswiderstand und hinterer Galvanometer- (Telephon-) Klemme liegt, heraus und ersetzt ihn durch die Normale) und in die Leitung L einen induktionsfreien Stöpselrheostaten ein, dann gelingt es nach einigem Probieren, die Widerstände so abzugleichen, daß die Brückenleitung sowohl bei dauernd geschlossenem Strom als auch beim Öffnen und Schließen stromlos ist. (Die gestrichelten Pfeile zeigen die Richtung der Öffnungsextraströme.) Dann verhalten sich nicht nur die Widerstände der beiden Zweigen wie $l_1 : l_2$, sondern auch ihre Selbstinduktionskoeffizienten, da ihre Extraströme, die sich durch G (in entgegengesetzter Richtung) ausgleichen, sich aufheben. Also ist $L = N \cdot \frac{l_1}{l_2}$ (Maxwellsche Methode)[2]). Als Galvanometer nimmt man am besten ein aperiodisches Drehspulinstrument.

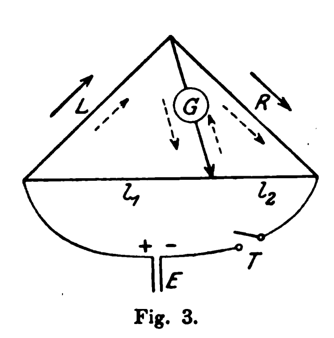


Fig. 3.

Zur Untersuchung des Stromverlaufs beim Schließen und Öffnen kann man den Oszillographen benutzen, der vor der Braunschen Röhre den großen Vorzug hat, daß man die Kurven mühelos einem großen Zuschauerkreise vorführen kann. Allerdings gibt letztere, da die Elektronen praktisch keine Trägheit haben, die Vorgänge absolut genau an, was beim Oszillographen nur der Fall ist, wenn er richtig gedämpft ist und wenn ferner die Dauer seiner Eigenschwingung hinreichend klein (etwa der 50. Teil) ist gegenüber der Dauer der zu untersuchenden Vorgänge. Mit dem in der oben angeführten Abhandlung (vgl. Fußnote 2, vorige Seite) beschriebenen Oszillographen, den man unschwer selber herstellen und auf jedem Elektromagneten anbringen kann, und dem ebenda erwähnten Pendelspiegel sind die jetzt folgenden Versuche ausgeführt. Einen wesentlich helleren Lichtfleck erzielt man durch die in Fig. 4 dargestellte Anordnung: In K befindet sich der positive Krater der Universal-

[1]) Z. B. v. Hartmann u. Braun, Frankfurt a. M.

[2]) Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 4. Aufl., 1901, S. 479.

bogenlampe; ihr Kondensor A konzentriert das Licht auf die $^1/_2$ bis 1 mm weite Lochblende B; von dieser entwirft die Linse C (etwa 10 Dioptrien) das Bild D. Bevor dieses zustande kommt, bringt man den Spiegel des Oszillographen in den Strahlengang, so daß sämtliche Strahlen reflektiert werden und das Bild von B in E entsteht. Von diesem entwirft das Objektiv (nicht zu große Brennweite und zu kleine Öffnung!), nachdem das Licht vom Pendelspiegel reflektiert ist, auf dem Schirm oder der photographischen Platte den Lichtfleck. (Liegt S auf D, dann bildet 0 den Spiegel ab und bei seiner Drehung behält der Lichtfleck seine Lage.) Sorgt man dafür, daß möglichst viel Licht durch 0 geht, dann sind die Kurven recht lichtstark. Als Spiegel, der die zeitlich aufeinander folgenden Vorgänge räumlich nebeneinander liegend darstellt, dient besser als ein Würfel- ein um eine vertikale Achse hin- und herpendelnder Spiegel (über seine Vorzüge s. die angeführte Abh. S. 277). Er wird durch eine mittels Elektromotors in Drehung versetzte Eisenscheibe E (Fig. 5) bewegt; ein an derselben angebrachter Nocken D und Schleifkontakte schließen und öffnen den Strom im Augenblick, wo der Spiegel seine größte Geschwindigkeit hat. Fig. 5 zeigt die Schaltung. Der positive Pol A der Starkstromleitung ist durch Schleifkontakt mit der Achse E der Kreisscheibe C verbunden, der negative über Oszillographenschleife F und Bifilarspule L mit dem Schleifkontakt H. Kommt bei der Drehung der Scheibe der etwa 2 mm breite Nocken D mit H in Berührung, dann wird der Strom geschlossen, um nach kurzer Zeit, wenn nämlich D sich an H vorbeibewegt hat, wieder geöffnet zu werden. Man sorgt durch Verschieben von Kontakt H auf einem halbkreisförmigen Bügel dafür, daß dies in dem Augenblick geschieht, wo der Spiegel seine größte Geschwindigkeit hat, sich also nahezu gleichförmig bewegt, und daß die Kurve auf dem Schirm liegt.

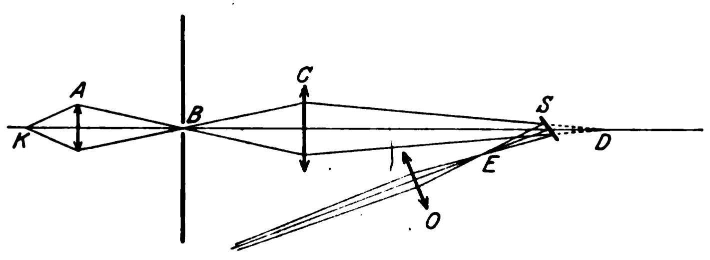


Fig. 4.

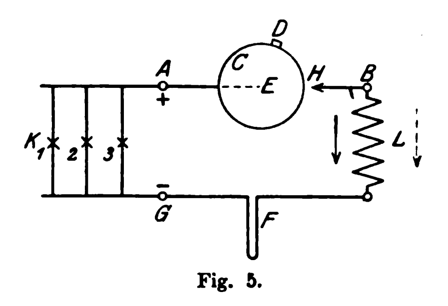
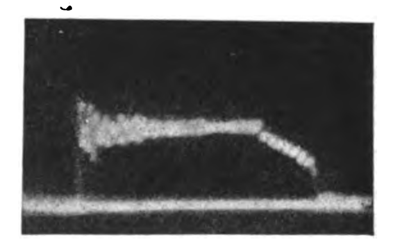


Fig. 5.

Die im folgenden wiedergegebenen Oszillogramme zeigen gleichzeitig die Schwingung einer Stimmgabel, die in der Sekunde 128 ganze Schwingungen macht, so daß man die Zeitdauer der Vorgänge aus den Aufnahmen ablesen kann. Bei allen Kurven betrug die Stromstärke i_0 in L 2,2 A; daß die Ordinaten verschieden sind, erklärt sich durch verschieden starke Erregung des Magnetfeldes des Oszillographen. Bei Fig. 6 lag die Bifilarspule in Gegenschaltung ($L = 0$) in der Leitung; der Strom steigt links senkrecht sehr schnell zur vollen Stärke an. Durch den plötzlichen heftigen Stoß führt die Schleife ihre Eigenschwingungen aus. Dann tritt die Unterbrechung ein, der Lichtbogen entsteht, durch ihn fließt der Strom mit abnehmender Stärke eine kurze Zeit weiter, um dann plötzlich nach Abreißen des Bogens auf 0 zu sinken.


Fig. 6.

Nun wird die Spule in Gleichschaltung gebracht ($L = 0{,}04\ H$, Fig. 7). Jetzt steigt i langsamer an; i_0 ist in etwa $^1/_{50}$ Sek. erreicht, der Stromabfall erfolgt, da dem Lichtbogen durch den Extrastrom Energie zugeführt wird, langsamer, nach Erlöschen des Bogens plötzlich.

Bringt man jetzt den Eisenkern in die Spule (Fig. 8), dann wird dadurch ihr Selbstinduktionskoeffizient beträchtlich (auf das 3—4fache, s. u.) erhöht. Anstieg und Abfall erfolgt langsam. Die Schließungskurve stimmt in ihrem ganzen Verlauf, die Öffnungskurve wegen des Lichtbogens nur am Anfang mit den theoretischen Kurven in Fig. 1 überein. Bei Kurve 9 wird der Funke dadurch früher ausgeblasen, daß oberhalb der Unterbrechungsstelle am Kontakt H der Pol eines Stabmagneten so gehalten wird, daß er das Lichtbogenband nach oben treibt. (Funkenlöschspulen werden in der Technik z. B. bei den Walzenanlassern größerer Elektromotoren verwendet.) Der Strom fällt schneller ab.

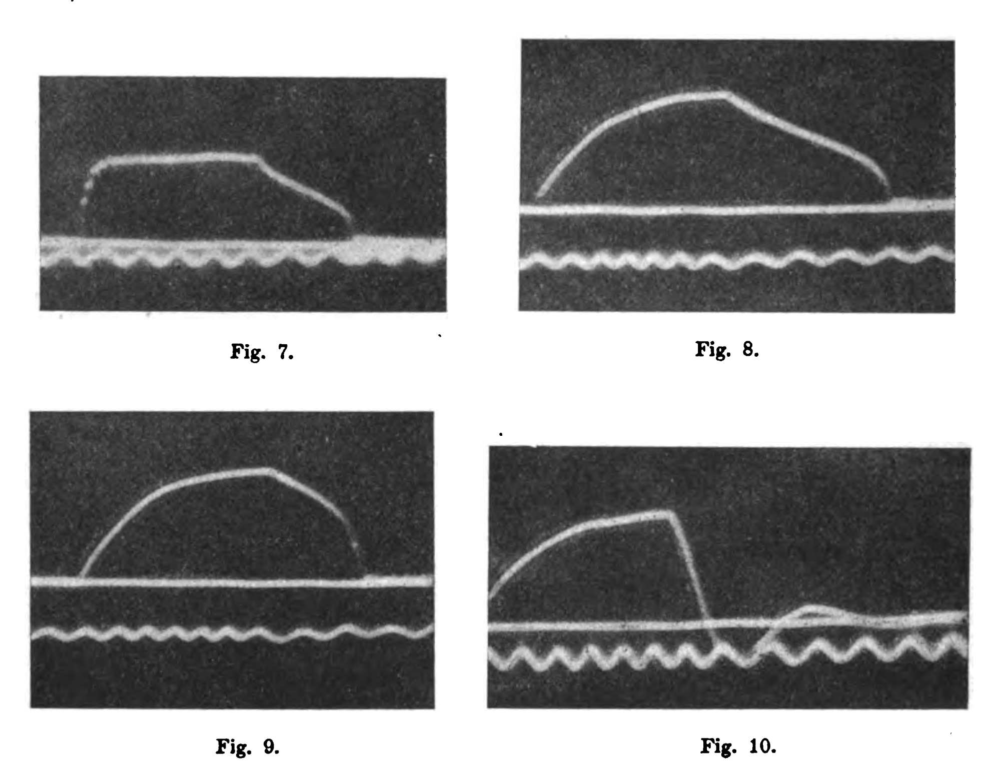


Fig. 7. Fig. 8.

Fig. 9. Fig. 10.

Fig. 10 zeigt die Wirkung eines Papierkondensators von etwa 90 μF, der parallel zur Unterbrechungsstelle bei A und B angelegt wird. Der Öffnungslichtbogen wird dadurch stark verkleinert und der Stromabfall erfolgt sehr schnell. Der in der Spule entstehende Extrastrom (gestrichelter Pfeil, Fig. 5) lädt die mit B verbundene Belegung negativ, während die positive Elektrizität durch die Oszillographenschleife F und die sämtlichen AG parallel geschalteten Leitungen K (1, 2, 3 usw.), also durch die Bogenlampe, die Magnete des Oszillographen, die Lampen der Zimmerbeleuchtung usw., auf die mit A verbundene zweite Belegung fließt. Kondensator C Bifilarspule L und die genannten Leitungen stellen einen Schwingungskreis dar. Das Oszillogramm zeigt, wie er ausschwingt, und zwar wegen der zahlreichen Eisen enthaltenden Spulen (L, Magnetspulen) stark gedämpft. Durch Messung ergibt sich für die Schwingungsdauer 0,03 Sek., während man aus der Kirchhoffschen Formel $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$, wenn man den aus dem Oszillogramm einer Kondensatorschwingung

ermittelten Wert 0,25 H für L einsetzt, 0,028 Sek. erhält[1]). Der Strom fällt in 0,006 Sek. von i_0 auf 0 ab, das ist etwa ein Viertel der Schwingungsdauer. Wie auch im Oszillogramm der erste abfallende Teil, der im unter der Achse liegenden Teil seine organische Fortsetzung findet, setzen sofort beim Öffnen die Kondensatorschwingungen ein; ihre Schwingungsdauer bestimmt die Zeit, in der die Stromstärke auf 0 sinkt. Um eine möglichst günstige Wirkung beim Funkeninduktor zu erhalten, wird man dafür sorgen, daß C und L möglichst klein sind, damit T auch klein und die Induktionswirkung beim Öffnen groß wird.

Fig. 11 zeigt die Kurve, die man erhält, wenn man $40\,\mu F$ parallel zur Unterbrechungsstelle legt. Entsprechend der kürzeren Eigenschwingungsdauer des Kondensatorkreises erfolgt der Stromabfall in noch kürzerer Zeit, etwa 0,004 Sek.

Bei den Versuchen mit den Kondensatoren muß man sehr vorsichtig sein, da sonst wegen der auftretenden hohen Spannung die Kondensatoren, für die 330 Volt als Höchstbelastung angegeben wird, leicht durchschlagen werden. Man muß die

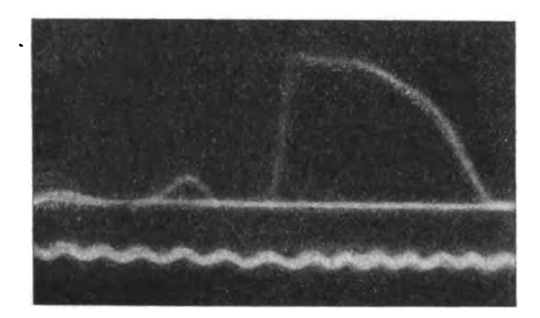


Fig. 11.

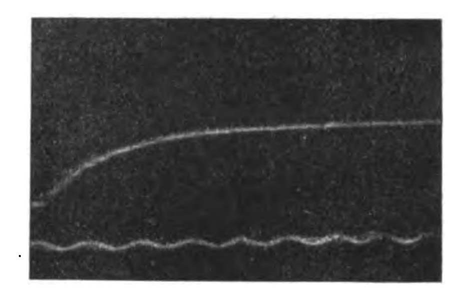


Fig. 12.

Stromstärke i_0 möglichst niedrig halten. Um hinreichend große Ordinaten zu erhalten, erregt man das Feld des Oszillographenmagneten kräftiger. Wird ein Kondensator, wie es dem Verfasser beim Ausprobieren der Versuche mehrfach passiert ist, beschädigt, dann öffnet man den Holzkasten, entfernt das Paraffin und legt an die Klemmen Starkstromspannung. Dann geht der Strom an der Durchschlagsstelle über, bringt das Paraffin zum Schmelzen und Verdampfen und man sieht, wo der Fehler sitzt. Man nimmt die betreffende Rolle heraus und wickelt sie so weit ab, bis die schadhafte Stelle entfernt ist. Hat man Glück, dann schließt sich die Durchbruchsstelle in der Isolation durch das schmelzende Paraffin von selber.

Die Tabelle gibt Auskunft über die Zeit, die bei den verschiedenen Versuchen vergeht, bis die Stromstärke von i_0 auf 0 abfällt.

	L		
Spule in Gegenschaltung	0	12	Tausendstel Sek.
„ „ Gleichschaltung	0,04 H	20	„ „
„ mit Eisen	~ 0,16 H	19	„ „
„ „ Funkenlöschung	0,16 H	16	„ „
„ $90\,\mu F$ parallel zu U	0,16 H	6	„ „
„ $40\,\mu F$ „ „ „	0,16 H	4	„ „

Fig. 12 zeigt bei schnellerer Bewegung des Spiegels den Schließungsstrom der Spule mit Kern, $i = 2{,}0\,A$. Berechnet man aus ihr den Selbstinduktionskoeffizient L

[1]) Daß die Übereinstimmung so gut ist, ist überraschend, da man nicht weiß, wie groß die Kapazität C in der Formel anzunehmen ist. Sie ist keineswegs gleich $90\,\mu F$, da der Schwingungskreis durch die Leitungen K (1, 2, 3 usw.) geschlossen wird, so daß das ganze Leitungsnetz mit ihm in Verbindung steht. Wie groß seine Kapazität ist, darüber läßt sich nichts sagen. Eine ähnliche Unsicherheit besteht wegen des Wertes von L, der in die Formel einzusetzen ist.

mit Hilfe von Gleichung (5), dann erhält man 0,11, 0,11 und 0,12 *H*, wenn man die Länge der Ordinate nach 1/128, 2/128 und 3/128 Sek. nach Stromschluß mißt. Die Werte wachsen, da mit zunehmender Stromstärke die Stärke des Feldes der Spule und damit die Permeabilität des Eisens wächst. Ein zweites (hier nicht wiedergegebenes Oszillogramm), das mit etwas größerer Stromstärke i_0 aufgenommen wurde, ergab für *L* die Werte 0,14, 0,15 und 0,15 *H*. Da *L* wegen des Eisenkerns von *i* abhängt, sind die Voraussetzungen der oben gegebenen Theorie nicht vollkommen erfüllt, doch ist die Übereinstimmung zwischen theoretischer und beobachteter Kurve beim Schließen befriedigend. Daß der Öffnungsstrom einen von dem errechneten wesentlich abweichenden Abfall zeigt, liegt daran, daß hier im Versuch die Voraussetzungen der Theorie nicht erfüllt sind, insofern als durch das Öffnen des Kreises die Spannung nicht 0 wird, sondern auf den vollen Wert der Netzspannung 110 Volt steigt, allerdings erst dann, wenn der Lichtbogen erloschen ist. Schaltet man, wie Fig. 13 zeigt, den rotierenden Unterbrecher parallel zu *L*, dann ist, so lange der Nocken *D* (man nimmt einen solchen von etwas größerer Breite) mit Kontakt *H* in Berührung ist, die Spannung *v* gleich 0. Die Schleife *F* zeichnet den Abfall der Stromstärke in *L* auf, und zwar in guter Übereinstimmung mit der von der Theorie geforderten Kurve. (Eine photographische Aufnahme wurde leider nicht gemacht).

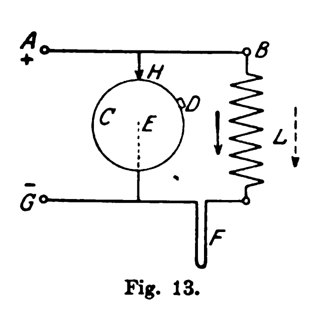


Fig. 13.

Daß auf allen Oszillogrammen die Maxima der Zeitkurve, solange der Strom geschlossen ist, dichter zusammenliegen als vor- und nachher, liegt daran, daß die Scheibe, wenn der Nocken *D* auf dem Kontakt *H* schleift, in ihrer Bewegung gehemmt wird. (Die Tourenzahl des Motors, die Scheibe und Spiegel in Bewegung setzte, wurde nämlich durch Vorschalten von Widerstand, wodurch seine Zugkraft vermindert wurde, geregelt). Um festzustellen, ob die Trägheit des Spiegels (seine Masse ist ∼ 40 mg, sein Trägheitsmoment ∼ $1/1000\, g \cdot cm^2$) die Kurven verzerrt, wurden die gleichen Vorgänge an der Braunschen Röhre im Pendelspiegel beobachtet, indem an Stelle der Schleife ein kleiner Elektromagnet trat, der neben der Röhre stand und die Kathodenstrahlen ablenkte. Ein Unterschied war nicht festzustellen. Man kann mit dem Oszillographen noch gut Kondensatorschwingungen von der Frequenz 500 pro Sek. beobachten.

Im weiteren Verlauf des Unterrichts findet man ja mehrfach Gelegenheit auf Selbstinduktion und Extraströme hinzuweisen, so beim Wehnelt-Unterbrecher, wo der Öffnungsstrom der Primärspule die an der Platinspitze gebildete Sauerstoffblase zum Glühen und damit zum Aufsteigen bringt, so daß der Strom wieder geschlossen wird. Die Energie des Extrastromes setzt sich also hier in Wärme um; der Kondensator ist überflüssig. Ferner bei der Dynamomaschine und beim Wechselstrom (Unterschied zwischen Ohm'schem Widerstand, der energieverzehrend ist und Induktanz, die die Stromvorgänge verzögert). Die durch Selbstinduktion bedingte Trägheit spielt eine Rolle, wenn es sich darum handelt, einen Apparat gegen Spannungsschwankungen des Netzes zu sichern (z. B. Quecksilberdampf (Uviol) lampe, Hinweis auf Pufferbatterie, Schwungrad). Die elektrischen Schwingungen machen, wenn man die hier gegebene energetische Einführung der Selbstinduktion wählt, dem Schüler weit geringere Mühe, da nur so eine einwandfreie Durchführung des Vergleichs mit mechanischen Schwingungen möglich ist.

Zur Erklärung des Kreiselkompasses.

Von **Paul Hanck** in Pasewalk.

Bei der Behandlung des Kreisels wird man wohl im allgemeinen auf eine Besprechung des Kreiselkompasses verzichten. Die gebräuchlichen Schullehrbücher der Physik veranlassen mich zu dieser Vermutung, denn nur in einem einzigen fand ich eine eingehendere Erörterung. Nun haben aber die Schüler vielfach in Zeitschriften oder Heften technischen Inhalts vom Kreiselkompaß gelesen, sie haben auch wohl während des Krieges hier und dort von ihm erzählen hören und bringen daher häufig von selbst die Sprache auf diese wichtige Anwendung des Kreisels. Da wird ihnen dann der Lehrer gerne eine Erklärung geben wollen, zumal er bei der Behandlung von Fragen, die durch die Schüler selbst angeregt sind, immer auf eine interessierte Zuhörerschaft zu rechnen hat. Ohne Versuche wird eine solche Erklärung aber immer mangelhaft bleiben, denn für die Schüler ist diese eigenartige Verwendung, die auf einer der merkwürdigsten physikalischen Tatsachen beruht, schwer faßbar. Ich will daher zeigen, wie man ohne große Hilfsmittel mit Apparaten, die für gewöhnlich vorhanden sein werden, den Schülern die dem Kreiselkompaß zugrunde liegenden Erscheinungen zum klaren Verständnis bringen kann.

Versuch 1. Man setzt einen einfachen Kreisel in Rotation und beobachtet an ihm eine allbekannte Erscheinung des täglichen Lebens, die unter dem Einfluß der Erdschwere entstehende Präzessionsbewegung. Erklärung durch den POGGENDORFschen Beweis.

Versuch 2. Durch einen weiteren Versuch überzeugt man sich davon, daß tatsächlich die Anziehungskraft der Erde die Präzessionsbewegung hervorruft. Man hängt den Kreisel mit horizontaler Achse in eine Bindfadenschlinge, so daß er sich im Gleichgewicht befindet. (Vergleiche ROSENBERG, Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre, II. Bd., S. 44.) Die Achse behält dann ihre Lage unverändert bei, auch wenn der Kreisel rotiert, sie bewegt sich dagegen in horizontaler Ebene, führt also die Präzession aus, wenn man auf eine Seite ein Übergewicht legt. Die Bewegung findet in entgegengesetzter Richtung statt, wenn man das Übergewicht auf die andere Seite der Achse legt.

Versuch 3. Man zeigt an dem BOHNENBERGERschen Apparat, daß der um eine freie Achse rotierende Kreisel seine Lage im Raume infolge des Beharrungsgesetzes nicht verändert, selbst wenn man dem Fuße beliebige Drehungen erteilt, weil auf ihn infolge der allseitigen Beweglichkeit in der CARDANIschen Aufhängung keine äußere Kraft einwirkt.

Versuch 4. Durch ein kleines Übergewicht, das man an dem inneren Ring des Apparates befestigt, wird auch hier die Präzessionsbewegung hervorgerufen. Durch dieses Übergewicht würde der Ring und damit auch der Kreisel im Ruhezustande um eine horizontale Achse gedreht werden. Diese Drehung ist es also, die dem rotierenden Kreisel die Präzessionsbewegung erteilt, denn nach Versuch 3 würde er ja, wenn er durch keine Kraft beeinflußt wird, seine Lage ständig beibehalten. Dieselbe Beweguhg muß natürlich eintreten, wenn man den Kreisel auf anderem Wege durch irgend eine Kraft um eine horizontale Achse dreht, etwa dadurch, daß man mit einem Bleistift leicht gegen den inneren Ring drückt. Wir kommen also zu dem wichtigen Schlusse, daß der rotierende Kreisel eine Drehung um eine horizontale Achse durch eine Drehung um eine vertikale Achse beantwortet.

Versuch 5. Man dreht den mittleren Ring des Apparates. Der Kreisel erfährt hierdurch eine Drehung um eine vertikale Achse, die ihn veranlaßt, sich um eine horizontale Achse zu drehen. Infolgedessen richtet sich der Kreisel auf, er wird gezwungen, seine Achse vertikal einzustellen.



Versuch 6. Dasselbe wird erreicht, wenn man den mittleren Ring durch die obere Schraube, um deren Spitze er drehbar ist, festklemmt und dem Apparat auf dem Prandtlschen Drehschemel eine Drehung um eine vertikale Achse erteilt. Der Kreisel stellt seine Achse schnell parallel zur Drehungsachse des Schemels, also vertikal ein, weil er jetzt nicht mehr allseitig beweglich ist. Dreht man den Schemel in entgegengesetzter Richtung, so kehrt auch der Kreisel seine Achse um.

Wer den Drehschemel nicht besitzt, kann diesen und die folgenden Versuche auch auf einem einfachen Tischstativ ausführen, besser aber wird man in diesem Falle die Schwungmaschine verwenden, zu der man sich einen passenden Einsatz leicht selbst verfertigen kann. Bei der Herstellung eines solchen kann man den Angaben von Merkelbach in dieser Zeitschrift (30. Jahrg., S. 126) folgen. Ich selbst verwende die dort zur Verarbeitung vorgeschlagenen hohlen Gardinenstangen schon seit längerer Zeit zur Anfertigung von Nebenteilen zu Apparaten und habe mich von ihrer Brauchbarkeit überzeugt. Für den vorliegenden Zweck will mir allerdings eine andere Verbindung von Achse und Teller zweckmäßiger erscheinen, da sie einen festeren Halt gewährt. Man sägt von einer Garnrolle den einen Rand ab und schraubt sie mit dem anderen auf einen kreisförmigen Holzteller von entsprechender Größe. In die Durchbohrung der Rolle klopft man ein etwa 10 cm langes Stück einer Gardinenstange. Wenn die Dimensionen passend gewählt sind, sitzt dieses infolge der Federkraft außerordentlich fest, so daß es mit der Hand kaum wieder aus der Rolle herausgezogen werden kann. Außerdem steht es genau senkrecht zur Holzplatte, so daß sich ein Geraderichten erübrigt.

Versuch 7. In Fig. 1 möge A einen Punkt der Erdoberfläche mit der geographischen Breite φ vorstellen, der durch diesen Punkt hindurchgehende Kreis den Ortsmeridian, AB den Horizont, QQ_1 den Äquator und PP_1 die Erdachse. Durch die Pfeile ist dann die Nord-Süd-Richtung bestimmt. Setzt man nun eine schiefe Ebene auf den Drehschemel, so kann man diese, wie ein Vergleich mit der Fig. 1 ergibt, als Horizont eines Punktes, die Platte des Drehschemels als Äquator und die Drehachse als Erdachse auffassen. Desgleichen ist durch die schiefe Ebene und die Platte die Lage des Meridians, die Nord-Süd-Richtung und die geographische Breite gegeben. Auf diese schiefe Ebene setzt man den Bohnenbergerschen Kreisel so, daß der äußere Ring in die Ebene des vorher festgelegten Meridians fällt. Den mittleren Ring klemmt man wieder fest, und zwar in der Weise, daß seine Ebene senkrecht zu der Ebene des äußeren Ringes und daher zum Meridian steht. Der Kreisel kann sich dann, da der innere Ring frei ist, um eine horizontale Achse bewegen.

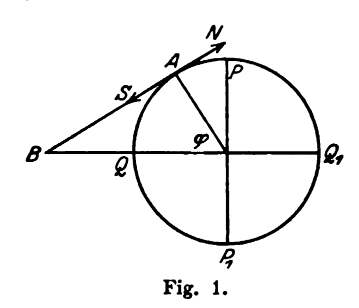


Fig. 1.

Gibt man nun dem freien Ring eine beliebige Lage, am besten vielleicht die durch Fig. 2 angegebene und dreht den Schemel, so erfolgt wie nach Versuch 6 zu erwarten war, eine Drehung des rotierenden Kreisels um eine horizontale Achse und die Kreiselachse stellt sich wieder parallel zur Drehungsachse ein, d. h. sie nimmt die Richtung der Erdachse an (Fig. 3). Das interessante Ergebnis unserer Betrachtungen ist also, daß ein im Meridian um eine horizontale Achse beweglicher Kreisel die Richtung der Erdachse annimmt oder anders ausgedrückt, auf den Polarstern zeigt, wenn er in Rotation versetzt wird. Vergleich: Eine um eine horizontale Achse im magnetischen Meridian drehbare Magnetnadel (Inklinationsnadel) zeigt nach dem magnetischen Pol.

Versuch 8. Klemmt man den mittleren Ring in einer andern Lage z. B. in der durch Fig. 4 angegebenen fest, so daß sich der innere Ring nur in einer zum Meridian senkrechten Ebene um eine horizontale Achse bewegen kann, so ist es dem Kreisel nicht möglich, sich in Richtung der Erdachse einzustellen. Bei einer Drehung

des Schemels nimmt er die in Fig. 5 dargestellte Lage an, d. h. er stellt sich vertikal ein. In dieser Lage kommt seine Achse nämlich der Richtung der Erdachse möglichst nahe, sie bildet mit ihr, wie sich geometrisch beweisen läßt, den kleinsten Winkel. Vergleich: Eine um eine horizontale Achse in einer zum magnetischen Meridian senkrecht stehenden Ebene bewegliche Magnetnadel steht vertikal.

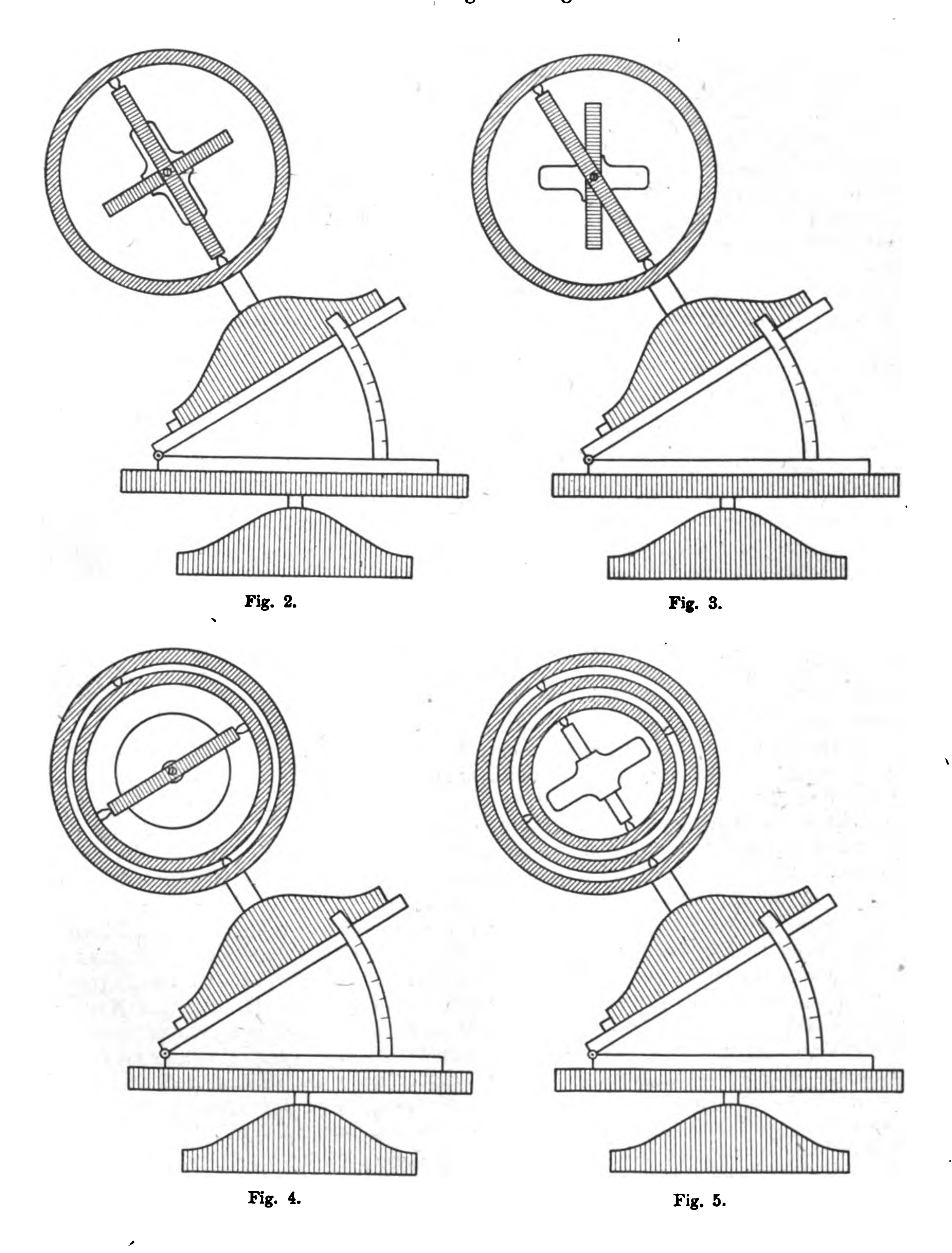


Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 4. Fig. 5.

Erklärung: Auf die Magnetnadel wirkt von den beiden Komponenten, in die die Gesamtintensität des Erdmagnetismus zerlegt werden kann, nur die vertikale, weil die horizontale in die Richtung der Drehungsachse der Nadel fällt. Ebenso kann von der horizontalen und vertikalen Komponente H und V (Fig. 6), in die die Drehbewegung D um die Achse des Schemels zerlegbar ist, nur die vertikale einen Einfluß ausüben. Die horizontale Komponente ist in diesem Falle wieder unwirksam, weil sie ja gerade nach Versuch 4 eine Drehung um eine vertikale Achse hervorrufen würde, den inneren Ring also nicht beeinflussen kann.

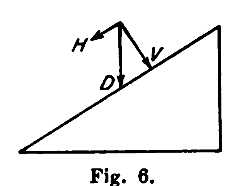


Fig. 6.

Man könnte hier einwenden, daß die Schüler die Zerlegung von Drehbewegungen nicht klar erfassen, aber jedes Mißverständnis wird meiner Meinung nach beseitigt, wenn man ihnen an dem Bohnenbergerschen Kreisel zeigt, daß die Drehung des inneren Ringes in jede beliebige Lage dadurch erfolgen kann, daß man ihn in der Cardanischen Aufhängung um eine horizontale und eine vertikale Achse oder umgekehrt dreht.

Versuch 9. Man klemmt nun anstatt des mittleren Ringes den inneren fest (Fig. 4) und beobachtet, daß der rotierende Kreisel bei einer Drehung des Schemels die durch Fig. 2 angegebene Lage einnimmt, weil jetzt nur die horizontale Komponente der Drehbewegung wirksam ist. Die Kreiselachse gibt also, wie ein Vergleich mit Fig. 1 erkennen läßt, die Nord-Süd-Richtung an. In dieser Stellung bildet sie wieder mit der Erdachse den kleinsten Winkel, und zwar ist dieser, wie man leicht nachweisen kann, gleich der geographischen Breite. Bei zunehmender Breite wird auch dieser Winkel größer und am Nordpol ist er gleich einem Rechten. Stellt man nun aber den Kreisel am Nordpol auf, d. h. gibt man der schiefen Ebene einen Neigungswinkel von 0°, so bildet die Kreiselachse in allen Lagen, die sie annehmen kann, einen rechten Winkel mit der Erdachse. Die Folge davon ist, daß jetzt eine Drehung des Schemels auf den rotierenden Kreisel keinen Einfluß auszuüben vermag, wovon man sich durch einen Versuch überzeugen kann. Anders liegen die Verhältnisse am Äquator. Der genannte Winkel ist in diesem Falle gleich 0°. Die Kreiselachse muß daher der Erdachse parallel sein. Die Richtkraft der Kreiselachse nimmt also von den Polen nach dem Äquator hin zu, was übrigens auch aus Fig. 6 hervorgeht, denn die wirksame Komponente H ist gleich $D \cos \varphi$, sie hängt also von dem Cosinus der geographischen Breite ab.

Damit sind wir am Schlusse unserer Betrachtungen angelangt. Im Unterrichte ist es natürlich noch nötig, hinzuzufügen, daß man den Bohnenbergerschen Kreisel nicht ohne weiteres als Kompaß benutzen kann, daß vielmehr der praktischen Ausführung eines derartigen Instruments anfangs mannigfache Schwierigkeiten in den Weg treten, die zu beseitigen das große Verdienst der Firma Anschütz ist. Ferner wird man nicht unerwähnt lassen, daß ein solcher Kompaß einen wichtigen direkten Beweis für die Rotation der Erde um ihre Achse liefert.

Durch die Ausführung der genannten Versuche erhalten die Schüler nicht nur einen klaren Einblick in ein wunderbares Kunstwerk der Feinmechanik, sondern es wird gleichzeitig dem Verständnis für den Foucaultschen Pendelversuch vorgearbeitet. Die Schüler erfassen es bekanntlich leicht, daß bei einem am Nordpol aufgehängten Pendel die scheinbare stündliche Drehung der Schwingungsebene des Pendels 15° beträgt und daß am Äquator eine Drehung gegen die Erde nicht eintritt, daß aber an beliebigen Punkten der Erdoberfläche die Drehung von dem Sinus der geographischen Breite abhängt, wird ihnen meist trotz des bekannten geometrischen Beweises nicht völlig klar sein, an ihre Auffassungskraft werden hier zu hohe Anforderungen gestellt. Da könnte man nun die Versuche 8 und 9 zum Vergleich heranziehen. So wie wir uns hier die Drehbewegung um die Achse des Schemels also um die Erdachse in eine der schiefen Ebene parallele Komponente und in eine

zu ihr senkrecht stehende, d. h. in eine horizontale und vertikale Komponente zerlegt dachten, so können wir auch für den Foucaultschen Pendelversuch bei einer beliebigen geographischen Breite die Drehung der Erde um ihre Achse in zwei Komponenten, eine horizontale und eine vertikale zerlegen. Für die scheinbare Drehung der Schwingungsebene des Pendels ist nur die um eine vertikale Achse drehende Komponente V (Fig. 7) von Einfluß (Vergleich mit einem am Nordpol aufgehängten Pendel) und diese ist gleich $D \sin \varphi$. Die andere Komponente H ist unwirksam, da eine Bewegung um eine horizontale Achse eine relative Drehung der Schwingungsebene gegen die Erde nicht hervorrufen kann. (Vergleich mit einem am Äquator aufgehängten Pendel). Der übliche geometrische Beweis dürfte nach diesen Erläuterungen ganz überflüssig sein, zum Verständnis des Versuches würde er jedenfalls nicht mehr beitragen.

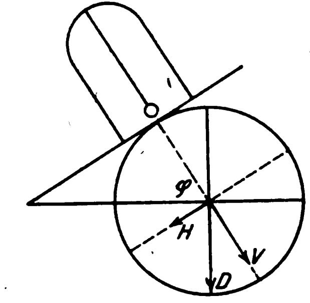


Fig. 7.

Eine einfache Form des Pronyschen Zaumes und ihre Anwendung zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents.

Von Dr. Ad. Lindemann in Hamburg.

Die Bestimmung der Leistung eines Motors wird im Unterricht seltener ausgeführt, als es mit Rücksicht auf die dabei mögliche Klärung wichtiger Begriffe wünschenswert ist. Es liegt dies zum Teil daran, daß die käuflichen Bremsvorrichtungen in der Regel angepaßt sind an Motoren mit Riemenscheiben, während die meist in den Sammlungen vorhandenen Kleinmotoren mit Schnurscheiben ausgestattet sind. Für solche Motoren erziele ich seit längerer Zeit befriedigende Ergebnisse mit folgender Anordnung:

An einem Stativ wird eine Federwage mit Einteilung in $^1/_{10}$ kg aufgehängt und an dieser ein Bindfaden befestigt, der einmal um die Schnurscheibe herumgeschlungen wird und unten durch ein angehängtes Gewicht belastet (Fig. 1). Durch Verwendung verschiedener Gewichte läßt sich die Bremsung und damit die der Maschine entnommene Leistung in weiten Grenzen verändern. Es empfiehlt sich, den Bindfaden etwas zu ölen, da dann die Reibung gleichmäßiger ist. Die Angabe der Federwage, vermindert um das angehängte Gewicht, gibt die Größe des Reibungswiderstandes, die man nur mit dem Umfang der Schnurscheibe und der Zahl der Umdrehungen zu multiplizieren braucht, um die geleistete Arbeit zu erhalten. Das Fehlen von Hebelübertragungen macht bei der angegebenen Anordnung die Berechnung der Reibungsarbeit besonders übersichtlich. Am einfachsten stellt man sich den Motor stillstehend vor und die Arbeit dadurch geleistet, daß man die Schnur an dem an der Federwage hängenden Ende faßt und reibend über die Schnurscheibe hinwegzieht. Man müßte dann mit einer Kraft ziehen, welche gleich dem Reibungswiderstande ist, und einen Weg zurücklegen, der gleich dem Umfang des Rades mal Zahl der Umdrehungen ist, um dieselbe Arbeit zu erhalten, die bei wirklicher Drehung des Motors geleistet worden. Dividiert man die erhaltene Zahl von Meterkilogrammen durch die Zahl der Sekunden, die für die Arbeit erforderlich war, so erhält man die Leistung der Maschine in Meterkilogramm pro Sekunde, durch weitere Division durch 75 in Pferdestärken (P.S.).

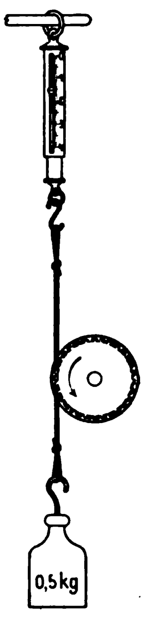


Fig. 1.

Zur Ermittelung der Zahl der Umdrehungen benutze ich einen kleinen Tourenzähler zum Andrücken an die Motorachse mit Glockensignal bei je 100 Umdrehungen. Es ist dies das billigste System, zudem verdient es wegen des für den Klassenunterricht angenehmen Glockensignals den Vorzug vor Tourenzählern, welche lediglich eine zahlenmäßige Ablesung der erfolgten Zahl von Umdrehungen gestatten.

Die erreichten Resultate sind in der Regel von beachtenswerter Genauigkeit. So wurde an einem Gleichstrommotor gemessen:

Belastung der Bremsschnur: 1 kg. Ablesung an der Federwage im Mittel 2,88 kg, Reibung also 1,88 kg. Umfang der Schnurscheibe 12,5 cm. 1000 Umdrehungen erforderten 22,8 Sekunden. Daraus folgt:

$$\text{Leistung} = \frac{1{,}88 \cdot 0{,}125 \cdot 1000}{22{,}8} = 10{,}31 \text{ mkg pro Sek.} = \text{rund } {}^1/_7 \text{ P.S.}$$

Fast dasselbe folgt aus dem Aufwand an Strom: Es wurden aufgewandt 1,65 Amp. bei 109 Volt = 180 Watt, von denen 4,9 Watt in der Maschine durch Joulesche Wärme verbraucht wurden (berechnet als $i^2 w$, wo w der Gesamtwiderstand der ruhenden Maschine, hier zu 1,8 Ω bestimmt). Bei Leerlauf mit annähernd derselben Tourenzahl verbrauchte die Maschine 0,7 × 107 = 75 Watt. Die Joulesche Wärme betrug hierbei 0,9 Watt, so daß für die Reibung in der Maschine 74,1 Watt verbraucht werden. Für die an der Bremsvorrichtung angezeigte Leistung verbleiben mithin: 180 — 4,9 — 74,1 = 101 Watt. Da nun 1 Kilowatt rund gleich 102 mkg pro Sek., so entsprechen diese 101 Watt einer Leistung von rund 10,3 mkg pro Sek.

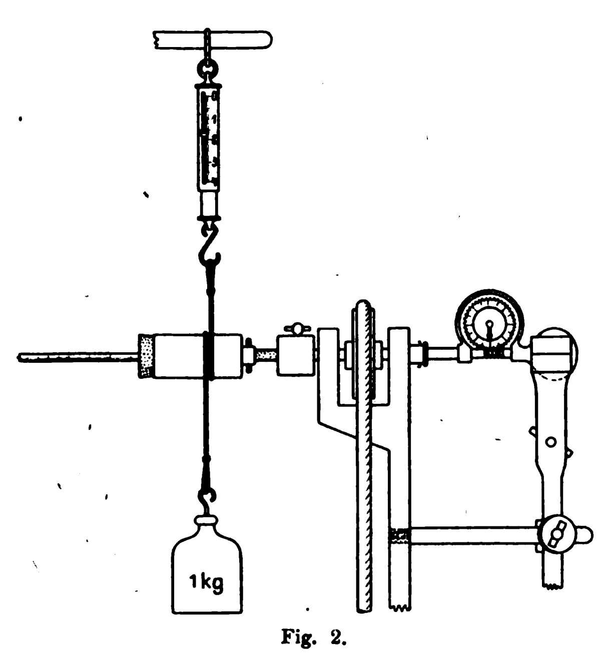


Fig. 2.

Die angegebene Bremsvorrichtung benutze ich auch als Teil einer Versuchsanordnung zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents. An einer Schwungmaschine, am besten einer solchen mit Elektromotor, wird eine zylindrische, an einem Ende offene Messingbüchse befestigt, und zwar der Wärmeisolation wegen an einem Holzstiel (Fig. 2). Die Büchse wird mit Wasser gefüllt, möglichst ohne daß Luft darin verbleibt, und mit einem Kork verschlossen, durch den ein in $^1/_5{}^0$ geteiltes Thermometer eingeführt wird. Um die Büchse kommt der Bindfaden der Bremsvorrichtung. Der Tourenzähler wird durch Teile eines Bunsenschen Stativs fest mit der Achse der Maschine verbunden. Am einfachsten geschieht das, indem man die Schraubenmutter zur Aufnahme eines Hakens, die sich meist an einem Ende der Drehungsachse der Schwungmaschine befindet, fein durchbohrt und einen Draht hindurchzieht, über den dann das mit Kreuzschlitz versehene Ansatzstück paßt, das gewöhnlich mit dem Tourenzähler geliefert wird. Die Anpassung von Tourenzählern anderer Systeme dürfte ebenfalls keine Schwierigkeiten bieten.

Die Ausführung der Messung vollzieht sich nun so, daß man Tourenzähler und Thermometer sowie die Zimmertemperatur abliest, sodann die Schwungmaschine in Bewegung setzt und die Angabe der Federwage abliest. Aus den beiden Thermo-

meterangaben folgt, bei welcher Temperatur der Versuch unterbrochen werden muß, wenn man so viel oberhalb der Zimmertemperatur aufhören will, als man unterhalb derselben angefangen. Das Fortschreiten der Erwärmung kann man während der Rotation beobachten, wenn man den Zylinder nicht mehr als etwa 100 Umdrehungen in der Minute machen läßt. Bei je 100 vollen Umdrehungen liest man erneut die Federwage ab, um nachher das Mittel aus allen Ablesungen nehmen zu können, die in der Regel eine Änderung von etwa 200 g im Laufe von 500 Umdrehungen zeigen.

Die erreichten Resultate schwanken in der Regel zwischen 400 und 450 mkg, was zumeist darauf zurückzuführen ist, daß die Angaben der Federwage nicht genau genug sind. Diesem Übelstand könnte durch eine Anordnung, wie sie CALLENDAR[1]) verwendet, abgeholfen werden, doch würde darunter die Übersichtlichkeit leiden, so daß ich es für den Schulunterricht vorziehe, genauere Werte durch Anstellen mehrerer Versuche zu erhalten, aus deren Ergebnissen das Mittel genommen wird. Die Metallbüchse ist für einen weiteren Versuch gebrauchsfertig, wenn man sie nach Abschluß des vorhergehenden einige Minuten unter der Wasserleitung abkühlt, so daß das Thermometer wieder 1—2^0 unter Zimmertemperatur zeigt.

Bei einer Büchse von 2,8 cm Durchmesser und 5,8 cm Länge, wie sie meist benutzt wurde, muß man peinlich darauf achten, daß nicht das Resultat durch irgendwelche Wärmequellen gefälscht wird. So verursachte nach einer Versuchsreihe der von dem warm gewordenen Feldmagneten des Motors aufsteigende Luftstrom falsche Resultate. Später wurde die Büchse durch einen Schirm aus Packpapier hiergegen geschützt. Auch der Atem des Beobachters kann Fehler verursachen. Eine Büchse von dem doppelten Durchmesser war zwar weniger empfindlich, verlangte jedoch dieselbe Vorsicht und hatte den Nachteil, daß die zur Messung erforderliche Zeit unnötig verlängert wurde.

Der Kalorimeterwert der Büchse wird bestimmt durch Auswägen der Metallteile und Multiplikation mit der spezifischen Wärme, der des Thermometers in bekannter Weise durch Multiplikation des eingetauchten Volumens mit 0,46[2]). Die an den Kork und den Holzstiel abgegebene Wärme habe ich vernachlässigt.

Bei einem Versuch wurde gemessen:

> Wasserwert der Büchse: 3,8, der des Thermometers 0,46, Wasserinhalt 24,5 g, Durchmesser der Büchse 2,8 cm. Bei 503 Umdrehungen wurde eine Temperaturerhöhung von 4,7^0 erreicht. Die Federwage war mit 1 kg belastet und zeigte im Mittel 2,27 kg an, Reibung also 1,27 kg. Daraus ergibt sich das Wärmeäquivalent zu

$$\frac{1{,}27 \cdot 0{,}028 \cdot \pi \cdot 503}{0{,}02876 \cdot 4{,}7} = 416 \text{ mkg}.$$

Der nächste Versuch ergab 434 mkg, im Mittel geben beide Versuche 425 mkg. Ein anderes Mal wurden als Mittel aus 6 Versuchen 419 mkg erhalten. Die erreichte Genauigkeit entspricht meines Erachtens den Anforderungen, welche man billigerweise an die Versuchsanordnung stellen kann.

---

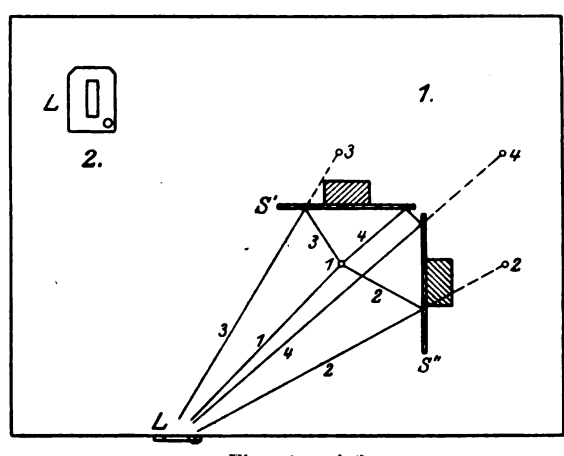
[1]) Frick-Lehmann, Physikalische Technik. Braunschweig 1909, Bd. II, 2., S. 1933. Preisliste 50 von Kohl Nr. 55230.

[2]) Kohlrausch, Kleiner Leitfaden der praktischen Physik, S. 114.

Die Bilder beim Winkelspiegel.

Von **Gg. Heinrich** in Augsburg.

Manchem Schüler macht es Schwierigkeiten, sich das Zustandekommen der Bilder im Winkelspiegel vorzustellen. Diese Schwierigkeit kann man, wenn man Zeit dazu hat, am besten dadurch beheben, daß man den Schüler durch einen Stecknadelversuch ermitteln läßt, wie die einzelnen Bilder entstehen. Das Rüstzeug ist dasselbe wie bei den gewöhnlichen Stecknadelversuchen: ein Reißbrett mit einem Blatt Papier; darauf die beiden Spiegel, die nicht ganz zusammenstoßen sollen; als Gegenstand (1) etwa eine Nadel mit einem Stückchen Kork; zum Abstecken die gewöhnlichen Nadeln. (Fig. 1). Um die Lage des Auges festzuhalten, heftet man an den Rand des Reißbrettes eine Lochscheibe L (Fig. 2) dorthin, wo man Gegenstand und Bilder zugleich sieht. Beim Festlegen der Strahlen steckt man die Nadel zuerst in die Nähe des Gegenstands (1) und dann immer weiter von ihm weg nach dem Auge hin zu. Um Störungen zu vermeiden deckt man die Spiegel durch übergehängte Papierstreifen so weit ab, daß man nur das gerade gewollte Bild sieht; man erkennt dabei gleichzeitig, welche Stücke der Spiegel an dem fraglichen Bilde beteiligt sind. Es empfiehlt sich auch jeden Strahl immer gleich auf dem Papier ausziehen zu lassen, wenn er abgesteckt ist. Läßt man den Versuch wirklich ausführen, so wird es vorkommen können,



Figg. 1 und 2.

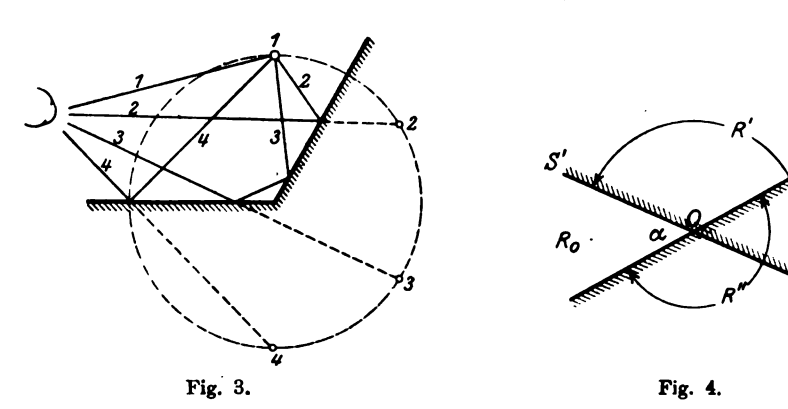


Fig. 3. Fig. 4.

daß etwa einmal ein Schüler den Winkel $\alpha = 120^0$ wählt und entdeckt, daß der Gegenstand hier im ganzen 4 mal zu sehen ist und nicht bloß 3 mal, wie die gewöhnlich in den Büchern stehende Formel $n = \frac{360}{\alpha}$ aussagt. (Fig. 3). Man muß dann also über die wirkliche Zahl der Bilder im Winkelspiegel Auskunft geben können. Aus dem Spiegelgesetz folgt ohne weiteres, daß ein — punktförmig gedachter — Gegenstand und seine Spiegelbilder auf einem Kreise liegen, dessen Ebene senkrecht auf der Schnittkante beider Spiegel steht. Für diese Ebene gelten unsere Figuren. Durch

die beiden Spiegel S' und S'' wird nun der ganze Raum in verschiedenen Winkelräumen geteilt; Fig. 4. Der erste Winkelraum R_o liegt vor den beiden Spiegeln; als zweiten Winkelraum betrachten wir den Raum R', der hinter der Ebene S' liegt, und als dritten den Raum R'' hinter S''. Die beiden Winkelräume R' und R'' haben den Raum R_h, der hinter beiden Spiegeln liegt, gemeinsam. Die Winkelräume R_o und R_h haben eine Größe von je α^0, während R' und R'' je 180^0 messen. Durch einmalige Spiegelung an S' [S''] bildet sich der Winkelraum R_o Punkt für Punkt in den Teilraum R_1' [R_1''] von der Größe α ab (Fig. 5). R_o und R_1' [R_1''] sind symmetrisch bezüglich der Spiegelebene S' [S'']; R_1' und R_1'' sind kongruent, sie lassen sich durch Drehung um den Scheitel O zur Deckung bringen. Die von einem beliebigen Punkt C in R_o ausgehenden Lichtstrahlen werden von S' [S''] so zurückgeworfen, als kämen sie von C_1' in R_1' [C_1'' in R_1'']. Von S' [S''] zurückgeworfene Strahlen können nun auch auf S'' [S'] treffen, wenn R_1' [R_1''] vor S'' [S'] liegt. D. h.: Der Teilraum R_1' [R_1''] bildet sich durch Spiegelung an S'' [S'] in den Teilraum R_2'' [R_2'] ab, und zwar Punkt für Punkt. Liegt R_2'' [R_2'] vor S' [S_2''], so bildet sich dieser Teilraum durch weitere Spiegelung an S' [S''] in den Teilraum R_3' [R_3''] ab u.s.w. Eine weitere Spiegelung ist erst ausgeschlossen, wenn ein Teilraum oder ein Stück eines solchen in den Hinterraum R_h fällt. Teilräume mit derselben Nummer, wie R_2' und R_2'', sollen „gleich hoch“ heißen; für solche Teilräume gilt dann der Satz: Gleichhohe Teilräume sind kongruent, sie lassen sich durch Drehung um O Punkt für Punkt zur Deckung bringen. Es sei nun:

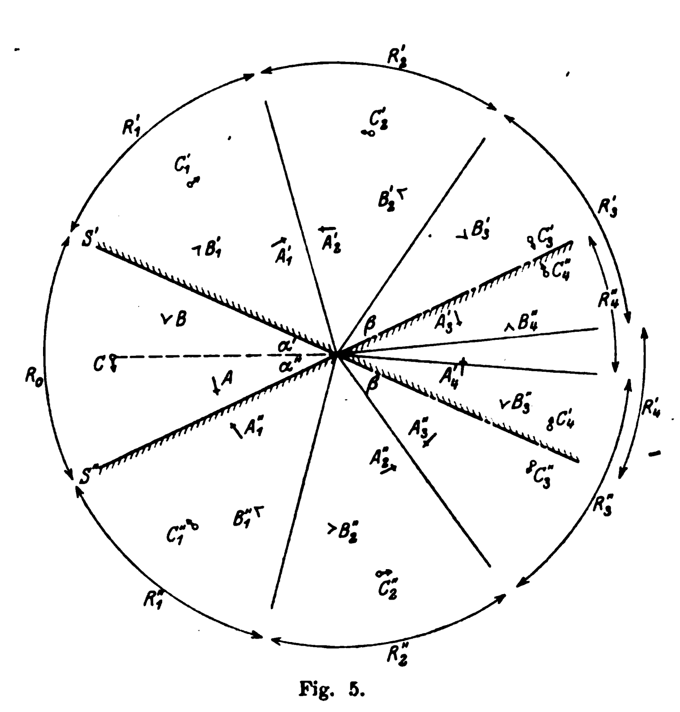


Fig. 5.

I. α ein Teiler von 180^0,

also $\frac{180}{\alpha} = \nu$ und ν eine ganze Zahl.

Dann zerfällt R' und ebenso R'' in ν Teilräume von je α^0. Die letzten Teilräume R_ν' und R_ν'' fallen hier gerade mit R_h zusammen; nach obigem Satz decken sie sich also Punkt für Punkt. Die letzten Spiegelbilder eines Punktes C, also C_ν' und C_ν'', fallen zusammen. Der Winkelspiegel liefert demnach $(2\nu - 1)$ Bilder. Rechnet man den Punkt C selbst mit, so hat man das Ergebnis: „In einem Winkelspiegel von α^0 Öffnung sieht man einen Gegenstand im ganzen $n = 2 \cdot \frac{180}{\alpha} = \frac{360}{\alpha}$ mal, wenn $\alpha = \frac{180}{\nu}$ ein Teiler von 180^0 ist.“ Es sei

II. α kein Teiler von 180^0,

sondern $180^0 = \nu \cdot \alpha^0 + \beta^0$, wobei ν wieder eine ganze Zahl bedeutet. Jetzt zerfällt also der Winkelraum R' [R''] in ν vollständige Teilräume von je α^0 und einem un-

vollständigen Teilraum, den Restraum $R'_{\nu+1}$ $[R''_{\nu+1}]$ von der Größe β^0. Vergl. Fig. 5; darin ist $\alpha = 50^0$, also $\nu = 3$ und $\beta = 30^0$. Es fragt sich nun erstens, ob auch jetzt im Hinterraum R_h Bilder zusammenfallen können, und zweitens, ob auch in den Resträumen $R'_{\nu+1}$ $[R''_{\nu+1}]$ Bilder des Gegenstands A, B, C liegen oder nicht.

1. Es ist immer $\beta < \alpha$, also liegt der Restraum $R'_{\nu+1}$ $[R''_{\nu+1}]$ immer ganz im Hinterraum R_h; siehe R_4' und R_4'' in Fig. 5. Außerdem liegt in diesem Hinterraum vom letzten vollständigen Teilraum R_ν' $[R_\nu'']$ ein Stück von der Größe $(\alpha - \beta^0)$. Die übrigen β^0 dieses letzten vollständigen Teilraums R_ν' $[R_\nu'']$ liegen vor dem Spiegel S'' $[S']$ und bilden sich eben in den Restraum $R''_{\nu+1}$ $[R'_{\nu+1}]$ ab. Ein Zusammenfallen von Punkten der Räume R'_ν und $R''_{\nu+1}$ $[R''_\nu$ und $R'_{\nu+1}]$ im Hinterraum R_h ist also unmöglich. Es könnte also nur noch der Fall eintreten, daß Bilder, die in den Resträumen $R'_{\nu+1}$ und $R''_{\nu+1}$ liegen, zusammenfallen. Denn diese Resträume, bei uns R_4' und R_4'', überlagern sich zum Teil, wenn $\beta > \frac{\alpha}{2}$ ist. Da aber $R'_{\nu+1}$ und $R''_{\nu+1}$ Stücke von gleichhohen Teilräumen sind, so mußten nach obigem Satz alle ihre Punkte zusammenfallen, wenn einzelne zusammenfallen. Es würde dann jeder dieser Resträume auch mit dem ganzen Hinterraum zusammenfallen, wir hätten dann also den schon erledigten Fall I.

2. Nachdem somit im Hinterraum nur dann ein Zusammenfallen von Bildern eintreten kann, wenn α ein Teiler von 180^0 und also kein Restraum vorhanden ist, so fragt es sich jetzt nur noch, ob in einem Restraum ein Bild liegen kann oder nicht. Das hängt von der Größe β des Restraumes und der Winkel α' und α'' ab, in welche die Verbindungslinien von O mit dem Gegenstand, z. B. C, den Winkel α teilt. Ist $\beta > \alpha'$ und auch $> \alpha''$, so liegt in jedem Restraum ein Bild; dies ist z. B. der Fall bei C_4' in R_4' und C_4'' in R_4'' der Fig. 5. Liegt β der Größe nach zwischen α' und α'', so gibt es nur in einem Restraum ein Bild; in Fig. 5 ist dies für A_4' in R_4', bzw. B_4'' in R_4'' der Fall. Ist schließlich $\beta < \alpha'$ und auch $< \alpha''$, so liegt in keinem Restraum ein Bild. Die Richtigkeit dieser Aussagen braucht nach den obigen Ausführungen wohl keine weitere Begründung.

Wir haben also folgendes Gesamtergebnis:

α^0 sei der Winkel zwischen den Spiegeln; er zerfalle durch die Verbindungslinie des Scheitels O mit den Gegenstand in die Winkel α' und α''. Gibt dann $\frac{180^0}{\alpha^0}$ die ganze Zahl ν und den Rest β^0, so sieht man den Gegenstand im ganzen — den Gegenstand selbst also mitgerechnet — n mal und zwar ist

$$\begin{aligned} \text{für } \beta &= 0 &&: \quad n = 2\cdot\nu \\ \beta &< \alpha' \text{ und } < \alpha'' &&: \quad n = 2\cdot\nu + 1 \\ \beta &\text{ zw. } \alpha' \text{ und } \alpha'' &&: \quad n = 2\cdot\nu + 2 \\ \beta &> \alpha' \text{ und } > \alpha'' &&: \quad n = 2\cdot\nu + 3. \end{aligned}$$

Kleine Mitteilungen.

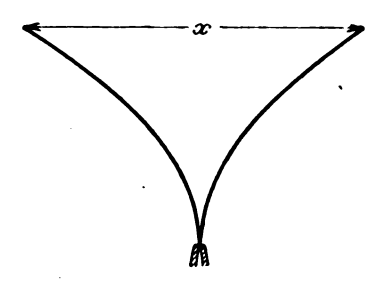
Ein einfaches Stroh-Hygrometer.

Von Prof. Dr. A. Wendler in Erlangen.

Zur Konstruktion von Hygrometern eignen sich in bekannter Weise hygroskopische Stoffe, wie entfettetes Haar, Darmsaiten, Kornstroh usw., außerdem können mit teilweise gutem Erfolg die einheimischen und exotischen Wetterpflanzen benutzt werden.

Einer zeitweisen Unterschätzung des hygroskopischen Prinzips gegenüber hat man nun schon seit längerer Zeit die Haarhygrometer würdigen gelernt. So hat, gestützt

auf eine umfassende Experimentaluntersuchung von J. PIRCHER, der bekannte Meterologe J. M. PERNTER (*Met. Zeitschr. 1904 S. 8: „Über die Gleichwertigkeit des Psychrometers und Haarhygrometers für Stationen 2. Ordnung“*) dem Haarhygrometer folgendes Zeugnis ausgestellt: „1. Die Angaben des Hygrometers sind von der Lufttemperatur unabhängig. 2. Sie weichen höchstens um 4% von der relativen Feuchtigkeit der Umgebung ab. 3. Selbst ein durch Luftstrom ventiliertes Psychrometer zeigt größere Abweichungen. Vom Aspirationspsychrometer kann das Hygrometer dabei bis zu 5% verschiedene Feuchtigkeit anzeigen. 4. Auch bei entsprechender Wahl der Psychrometerkonstanten weicht ein nicht ventiliertes Psychrometer zuweilen um das doppelte gegenüber dem (ebenfalls unventilierten) Hygrometer ab. 5. Die Angaben des Hygrometers sind von der Windgeschwindigkeit unabhängig, während das Psychrometer davon stark beeinflußt wird. 6. Die Empfindlichkeit des Hygrometers übertrifft die des Psychrometers beträchtlich. 7. Weitere Vorteile ergeben sich hinsichtlich der rechnerischen Verwertung der Ablesungen. 8. Das Hygrometer ist unbeeinflußt vom Frost und funktioniert auch bei der tiefsten Temperatur, während hier das Psychrometer nur ungenaue Werte gibt. 9. Auch mit Rücksicht auf die Verwendung im unbemannten und bemannten Ballon liegen die Vorteile des Hygrometers gegenüber dem Psychrometer auf der Hand. Dazu kommt, daß beim nicht ventilierten Psychrometer für die Konstante A drei Werte in Rechnung zu ziehen sind, nämlich 0,0012 für Windstille, 0,0008 für leicht bewegte und 0,000 656 für stark bewegte Luft. Bei Eisbedeckung des feuchten Thermometers hätte man eigentlich noch drei weitere Werte zu berücksichtigen; ja es soll A sogar eine Funktion der psychometrischen Differenz selbst sein. Dazu kommen dann endlich die durch den Luftdruck bedingten Komplikationen.



Der Hauptnachteil des Hygrometers ist die von Zeit zu Zeit (alle 3 Monate) nötige Justierung, und eine Störung ist ohne Neubestimmung des 100-punktes nicht zu erkennen. Dies fällt aber kaum ins Gewicht, da die allmählich auftretenden Störungen eben durch die periodisch vorgenommenen Eichungen eliminiert werden. Für die Beurteilung des Hygrometers fällt noch ins Gewicht, daß Konstruktionen möglich sind, bei denen die mit Achsenlagerung verbundenen Fehlerquellen wegfallen. (Über die Theorie des Hygrometers s. das Lehrbuch von HANN und *Met. Zeitschr. 1895, S. 145*).

Ein einfaches gut brauchbares Instrument erhält man nach NOWOTNY (*Met. Zeitschr. 1914, S. 194*), wenn man einen Kornstrohhalm der Länge nach spaltet, so daß etwa $1/2$ mm breite Streifen entstehen. Klemmt man einen solchen 10—20 cm langen Streifen fest, so können die Bewegungen des freien Endes zur Ablesung benutzt werden. Legt man zwei solche Streifen scharnierartig aneinander, so dient die Ausbauchung in der Mitte als hygrometrisches Maß und man kann so nach NOWOTNY, indem man die eine der beiden Mitten festmacht, die andere mit einer Schreibspitze zur Registrierung versehen.

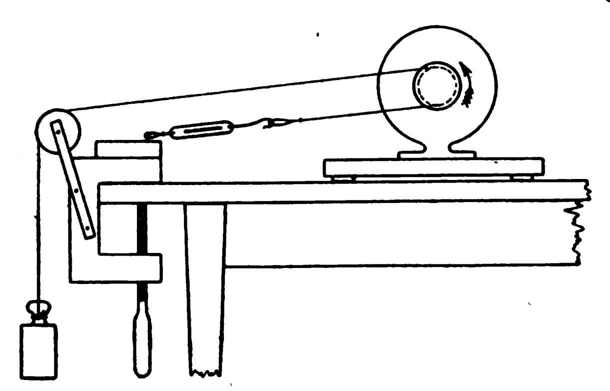
Ich habe nun auch zwei solche Streifen benutzt, sie aber, wie die Figur zeigt, so in einer photographischen Trockenklammer eingespannt, daß die über Koordinatenpapier ablesbare horizontale Entfernung der zwei freien Enden als hygrometrisches Maß genommen wird. Bei der folgenden Messung waren die Streifen vertikal aufgehängt, doch wäre zu prüfen, ob die horizontale Anordnung nicht vielleicht größere Empfindlichkeit und Regelmäßigkeit in der Einstellung bewirken würde. Auf alle Fälle gehen die beiden Zweige dieses Strohhalmhygrometers zusammen, wenn die Feuchtigkeit zunimmt und auseinander, wenn die Feuchtigkeit geringer wird. Bei meinem Modell entsprachen 4 cm und 19 cm Spitzenentfernung der relativen Feuchtigkeit von

100% und 0%, wobei die Trocknung des unter luftdichten Abschluß gesetzten Instrumentes durch Schwefelsäure und Natrium besorgt wurde. Um Anhaltspunkte für die Verwendbarkeit des Apparates zu hygrometrischen Beobachtungen zu gewinnen, habe ich Vergleichungen mit einem Psychrometer vorgenommen, dessen feuchtes Thermometer statt mit Musselin mit einer bestimmten Papiersorte bewickelt war (T. Okado, Untersuchungen über diesen Gegenstand im Aprilheft 1906 des *Journal of the Meteorological society of Japan*). Von 40 Vergleichungen wurde die eine Hälfte mit dem unventilierten, die andere Hälfte mit dem durch einen motorisch angetriebenen Propeller gut ventilierten Psychrometer ausgeführt; im ersten Fall ergab sich ein Korrelationskoeffizient $r = -0{,}54$ mit einem wahrscheinlichen Fehler $f = \pm 0{,}1$ und im zweiten Fall $r = -0{,}89$ mit $f = \pm 0{,}03$. Die zweite ungleich bessere Korrelation mit den Angaben des ventilierten Psychrometers läßt das angegebene Strohhalmhygrometer dem ungelüfteten Psychrometer als weit überlegen, dem gut ventilierten Psychrometer als mindestens gleichwertig erscheinen. Im übrigen dürften die obigen auf das Haarhygrometer bezüglichen Ausführungen Pernters auch für das hier besprochene Strohhalmhygrometer Geltung beanspruchen.

Leistungsmessung eines Motors (Schülerübung).

Von **Dr. Büchner** in Reichenbach i. V.

Verwendet wurde ein kleiner Drehstrommotor (1/8 PS.), über dessen Schnurscheibe ein starker Bindfaden als Bremszaum gelegt wurde, der unter Zwischenschaltung einer Federwage an einer Schraubzwinge befestigt war. Das andere Ende des Fadens lief über eine Rolle und wurde zur Spannung des Fadens mit einem Gewichte beschwert. Der Haken zum Anhängen der Federwage muß so eingeschraubt werden, daß beide Zweige des Fadens parallel laufen und somit die Kraft auf dem halben Umfang der Schnurscheibe wirkt. Der Umfang wurde durch Ausmessen eines zehnfach herumgelegten dünnen Fadens bestimmt und mit einem Umdrehungszähler wurde während des Versuchs die Umlaufszahl festgestellt.



Vor Anlaufen des Motors zeigte die Federwage das angehängte Gewicht p_1, bei der Drehung p_2; die Differenz gab die wirkende Kraft. Aus dem halben Umfang und der Umlaufszahl ergab sich der Weg pro Sekunde, aus dem Produkt von Kraft und Weg pro Sekunde die Leistung.

Es zeigte sich auch, daß infolge der Schlüpfung des Ankers die Umlaufszahl bei Lehrlauf (1475) höher ist als bei Belastung. Bei kleineren Gewichten betrug die Versuchsdauer 30 Sek., bei größeren 15 Sek., sonst wurde die Schnurscheibe zu heiß.

Beispiel:

Umfang	p_1	p_2	Kraft	Umlaufszahl	Leistung
0,14 m	1 kg	2 kg	1 kg	1460	1,7 mkg pro Sek.
0,14 „	3 „	5,2 „	2,2 „	1424	3,7 „ „ „
0,14 „	7 „	11,4 „	4,4 „	1260	6,5 „ „ „

Zum Nachweis der Relativität axialer und äquatorialer magnetischer Einstellung.

Von O. Auwers in Marburg a. L.

Für den oben genannten Nachweis hat Faraday[1]) folgende, bei Müller-Pouillet[2]) abgebildete Versuchsanordnung angegeben: Man bringt in ein Glasröhrchen, das an einem Ende offen, verjüngt nach oben gebogen und in einer Papierschleife an einem dünnen Faden aufgehängt ist, eine Eisenchloridlösung mittlerer Konzentration und hängt dieses in einem zunächst mit reinem Wasser gefüllten Schälchen zwischen die konischen Pole eines Elektromagneten. Das Röhrchen stellt sich parallel zum Feld des Magneten. Füllt man nun die Schale mit Eisenchlorid von doppelter Konzentration, als wie sie das aufgehängte Röhrchen enthält, so stellt sich dieses quer zur Achse des Magneten. Im ersten Falle würde man $FeCl_3$ paramagnetisch nennen, im zweiten aber diamagnetisch. In dieser Form ist der Versuch trotz der genial einfachen Anordnung des großen Experimentators keineswegs einfach auszuführen, weil das aufgehängte Röhrchen leicht an die Wand des Gefäßes gezogen wird und dort adhäriert. Es empfiehlt sich daher folgende abgeänderte Anordnung, die eine unterstützte Magnetnadel nachahmt:

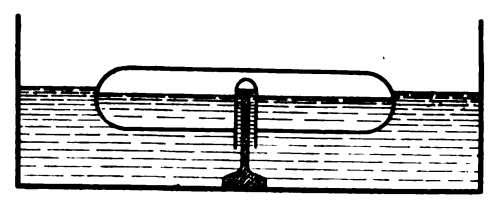
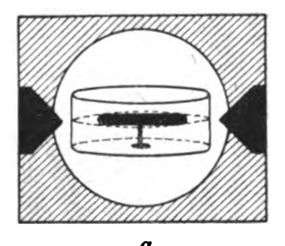
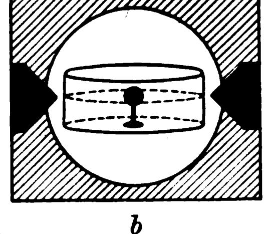


Fig. 1.





a Fig. 2. *b*

Das Röhrchen wird etwa zu $^3/_4$ mit $FeCl_3$ gefüllt zugeschmolzen, so daß es gerade horizontal zu schwimmen vermag; seine Länge wählt man zweckmäßig nicht über 5 cm. Ehe man es füllt (durch Erwärmen und Eintauchen in die verdünnte Eisenchloridlösung), schmilzt man in der Mitte eine Öffnung in die Wand. Je kleiner diese gelingt, desto leichter ist der folgende Schritt. Nach dem Füllen wird nämlich ein abgebrochenes Kapillarrohr, wie der Chemiker es zu Schmelzpunktsbestimmungen benutzt, senkrecht zur Längsachse in die Öffnung eingesetzt, worauf es mit Siegellack befestigt und gut abgedichtet wird (siehe Fig. 1).

Auf dem Boden des Gefäßes befestigt man nun, entweder durch Anschmelzen oder mit Klebwachs (Glas zuvor gut mit Alkohol reinigen!) einen Dorn, den man sich leicht durch plötzliches Ausziehen eines erweichten Glasstabes so dünn herstellen kann, daß er ohne Reibung in die Kapillare paßt. Das plötzliche Ausziehen des erweichten Stabes ist nötig, um einen breiten Fuß zu behalten, wie die Abbildung ihn zeigt. Jetzt setzt man das Röhrchen auf den Dorn und füllt die Schale so weit mit der betreffenden Flüssigkeit (Wasser oder $FeCl_3$), bis das Röhrchen nicht mehr vom Dorn getragen wird, sondern auf dem Flüssigkeitsspiegel schwimmend nur geführt wird, so daß er sich spielend leicht um die senkrechte Achse des Dorns drehen kann.

Obwohl ein Ausweichen zum Rande des Gefäßes hin unmöglich ist, darf man das Gefäß doch nicht zu klein wählen. Die Magnetpole wirken nämlich auch auf die

---

[1]) Mich. Faraday, Experimentelle Untersuchungen, 21. Reihe, Nr. 2362 ff., 1845 (enthalten in Ostwalds Klass. Nr. 140).

[2]) Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie IV, 2, 3 (1914), S. 692, Fig. 625.

$FeCl_3$-Lösung in der Schale stark ein und verzerren die Oberfläche, was das Gelingen zwar fördert, aber der Reinheit des Versuches wegen vermieden werden muß. Man wähle deshalb die $FeCl_3$-Lösung nicht zu konzentriert.

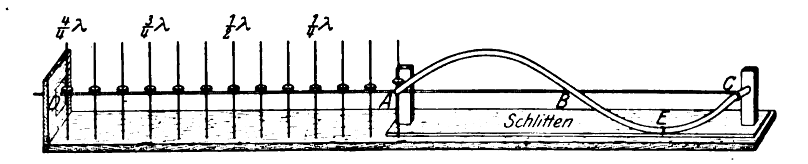
Will man den Versuch einem Auditorium vorführen, so kann man das Schälchen zwischen den Polen auf einen seitwärts stehenden Schirm projizieren. Fig. 2 zeigt in *a* die paramagnetische, in *b* dagegen die diamagnetische Stellung.

Eine neue Transversalwellenmaschine.

Von **Franz Schippmann**, Mittelschullehrer in Essen (Ruhr).

In der jetzigen Zeit, wo die Mittel für die Anschaffung von Apparaten nicht mehr so reichlich zu Verfügung stehen werden, ist es besonders notwendig, mit einfachen Mitteln sich zu helfen und manche Apparate sich selbst oder durch Schüler anzufertigen. Der nachstehend beschriebene Apparat soll die Entstehung einer Transversalwelle demonstrieren.

Der Apparat besteht (s. Fig.) aus einem Grundbrett, auf dem 13 Stangen senkrecht eingelassen sind. Auf jeder Stange läßt sich ein kugelförmiger oder zylindrischer Körper, der in der Mitte durchbohrt ist, leicht bewegen. (Als Körper werden passend die „Nummern eines Lottos" gewählt). Man kann zweckmäßig bestimmte dieser Körper verschieden färben. Rechts auf dem Grundbrette erblickt man einen



Schlitten, der den „Wellendraht" ABC trägt. Durch eine „Führung" des Schlittens (Leiste oder Rille)[1]) läßt sich die Ebene der Wellenkurve dicht an den senkrechten Stangen vorbeiführen. An dem Wellendraht ist bei A eine Schirmstange befestigt, welche parallel zum Grundbrette liegt und ebenfalls die senkrechten Stangen berührt. Diese horizontale Stange gleitet leicht, wenn der Schlitten von rechts nach links bewegt wird, durch die Öffnung bei D. Die Stange trägt die ruhenden Wellenteilchen. Etwas hinter dem Wellendraht ($\sim 1-1^1/_2$ cm) ist in A und C eine zweite Schirmstange befestigt. Sie stellt die Ruhelage der bewegten Wellenteilchen dar und erscheint von vorn gesehen als Fortsetzung der Ruhelage AD.

Bewegt man den Schlitten von rechts nach links, so gleitet die Stange AD durch das Lager bei D. Zuerst wird das Teilchen bei A erfaßt, dann die mehr links stehenden. Der Draht AD hält bei dieser Bewegung die Teilchen so lange in der horizontalen Ruhelage, bis der Wellendraht sie in die Höhe hebt. Ist der Schlitten bis zum Querbrett bei D angekommen, so hat das erste Teilchen bei A sich einmal auf und ab bewegt, es hat also eine ganze Schwingung ausgeführt. Dabei ist eine Welle unter dem Teilchen hergegangen. Die Welle erfaßt nacheinander die einzelnen Teilchen, und nach einer vollständigen Schwingung des ersten Teilchens bei A wird das Teilchen bei D bewegt. Es wird also nun ein Teilchen von der Welle erfaßt, welches um eine Wellenlänge vom Teilchen A entfernt liegt. Man kann auf diese Weise anschaulich die Beziehung $C = n\,\lambda$ entwickeln. Die einzelnen Phasen lassen sich bei dieser Wellenmaschine gut übersehen. Bei B bewegen sich die Teilchen in das Wellental, was ja dadurch möglich ist, daß die Stange $AC \sim 1-1^1/_2$ cm von dem Wellendrahte entfernt ist.

---

[1]) In der Figur der Deutlichkeit halber nicht eingezeichnet.



Durch Abnehmen der verschiedenen Wellenteilchen, lassen sich die Versuche vielseitig gestalten.

Für die Anfertigung seien noch folgende Angaben hinzugefügt: Das Grundbrett ist 114 cm lang, 13 cm breit und $2^1/_2$ cm dick. Von der Mitte aus werden in gleichen Abständen voneinander 13 runde Schirmstangen (oder Stricknadeln) von $\sim$ 18 cm Länge $\sim$ 2 cm tief in das Grundbrett eingelassen. Der Abstand der ersten von der dreizehnten Stange beträgt 52 cm. Von der vorderen Längskante sind diese Stangen 2—3 cm entfernt. Man bohrt mit einem Drillbohrer senkrechte Löcher in das Grundbrett und schlägt die Schirmstangen hinein. Sollte später eine von ihnen nicht die Stange AD berühren, so genügt ein leichter Schlag mit dem Hammer, den man möglichst tief an der Befestigungsstelle ausführt. Die Bohrung im Querbrette bei D macht man bedeutend größer als den Querschnitt der Schirmstange AD. Auf beiden Seiten dieser Öffnung befestigt man später ein Zinkblech, welches eine Öffnung von dem Querschnitt der Stange AD hat. Durch dieses Verfahren kann man die Stange AD leicht einrichten, und sie bekommt einen besseren Halt. Die Wellenlinie habe ich aus verzinktem Eisendraht von 5 mm Durchmesser hergestellt. Der Abstand des Wellenberges und des Wellentales von der Ruhelage beträgt je $\sim$ 4 cm, die Länge der Welle 52 cm, ist also gleich dem Abstand der ersten von der dreizehnten Stange. In den Punkten A und C ist der Wellendraht senkrecht nach hinten gebogen und wird durch diese Verlängerungen von zwei Ständern, welche eine 5 mm weite Bohrung erhalten, getragen. Die Ständer werden auf dem Schlitten befestigt. Man macht die Umbiegungen so lang, daß sie gut in den Säulen befestigt werden können und noch $\sim$ 2 cm weit nach vorn herausragen. Bei E kann man noch den Wellendraht mit einer eingefeilten Rille versehen und durch einen dünnen Draht mit dem Schlitten verbinden. Auf den Umbiegungen in A und C wird die Schirmstange $AC \sim 1^1/_2$ cm von der Ebene des Wellendrahtes angebracht, indem man an diesen Stellen einen Kerb einfeilt und die Stange mit einem dünnen Draht befestigt. Die Schirmstange AD wird vorn an dem Wellendraht in A festgemacht. Man feilt am Anfange des Wellenberges in A eine Rille rings um den Wellendraht, zieht durch die „Öse“ der Schirmstange einen dünnen Draht und schlingt denselben um die Rille. Dadurch ist eine Verschiebung der Stange AD ausgeschlossen. Durch die Einsenkung des Drahtes in die Rille wird außerdem eine Hemmung der Wellenteilchen am Wellendrahte vermieden. Es ist ratsam, die senkrechten Stangen und den Wellendraht etwas einzufetten, dann wird der Apparat besonders gut arbeiten. Die „Nummern des Lottos“ müssen sich leicht bewegen lassen. Die Öffnungen dürfen aber nicht zu groß sein. Der Schlitten hat eine Länge von $\sim$ 57 cm und eine Dicke von 0,7 cm.

Ich habe die Führung des Schlittens durch eine Rille hergestellt, die in dem Grundbrette angebracht ist. Durch diese Rille gleitet leicht eine Leiste, die mit dem Schlitten verbunden ist. Man kann auch an der hinteren Längsseite des Grundbrettes eine Leiste anbringen und dem Schlitten eine entsprechende Breite geben, so daß er durch diese Leiste seine Führung bekommt. Versieht man diese Seite noch mit einem weißen Pappdeckel von 114 cm Länge und $\sim$ 20 cm Breite, so heben sich die Erscheinungen noch deutlicher ab.

Eine schulmäßige Analyse der Salpetersäure.

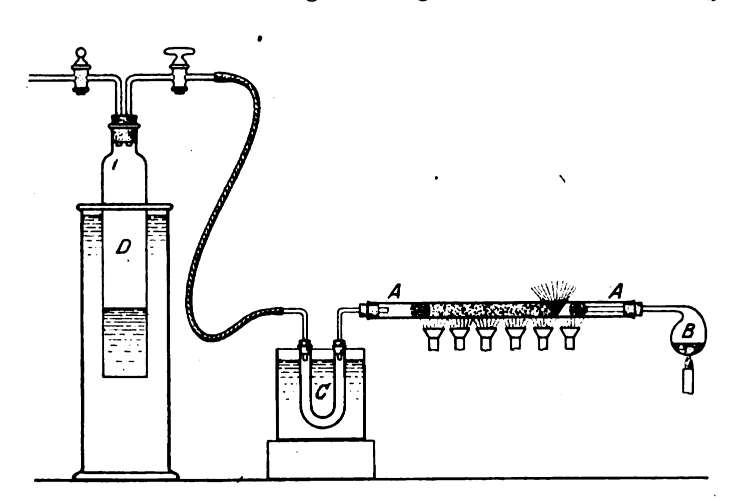
Von **Friedrich C. G. Müller** in Brandenburg (Havel).

Jeder Chemielehrer wird immer wieder bedauert haben, nicht zeigen zu können, daß die aus dem Salpeter mittelst Schwefelsäure freigemachte Säure eine Stickstoffsäure, geschweige denn, daß diese Säure gemäß der Formel NO_3H zusammengesetzt ist. Man mußte dies auf guten Glauben hinnehmen, während bei den anderen wichtigen Mineralsäuren die chemische Zusammensetzung durch gute Schulversuche festgestellt werden kann.



Nun zeigte die kürzlich vom Verf. mitgeteilte Methode, Kohle im Salpetersäuredampf zu verbrennen (*diese Zeitschr. 32, S. 40*), einen Weg zur Elementaranalyse dieser Säure. Leider trüben die dabei entdeckten interessanten Nebenvorgänge das Endergebnis. Weiterhin jedoch versuchte man es mit einem anderen leicht oxydierbaren, aber von störenden Beimengungen freien Stoffe mit festem Verbrennungsprodukt, nämlich mit feingekörntem porösen Kupfer, wie es bei der Luftanalyse Verwendung findet. Gleich der erste Versuch zeigte, daß man mit diesem Material aus NO_3H-Dampf den Stickstoff ebenso glatt abscheiden kann, wie aus atmosphärischer Luft. Der Apparat ist der gleiche, wie bei der Verbrennung von Kohle mittelst Salpetersäure, weshalb die Figur der angeführten Abhandlung auch an dieser Stelle wieder Platz finden kann (s. Fig.). Das Rohr *A* enthält eine 20 cm lange Schicht gekörntes Kupfer, die Retorte *B* 10 g Kaliumsalpeter und 10 ccm konzentrierte Schwefelsäure, *C* Chlorcalcium.

Bei der Vorbereitung hat man einen Strom Wasserstoff oder Leuchtgas unter Erhitzung durch das mit Kupfer beschickte Rohr zu leiten, bis das Metall hellrot erscheint und alle Feuchtigkeit ausgetreten, und es dann gut verkorkt zum Gebrauch bereit zu legen. Zu Beginn der Stunde, in der die Analyse vorgeführt werden soll, liegt das Rohr, genau ins Gleichgewicht gebracht, auf der Klassenwage. Auch das Chlorcalciumrohr ist bereits gewogen. Sogleich stellt man den Apparat gemäß der Figur zusammen und entzündet die Heizflammen. Nach 5 Minuten ist das Rohr heiß genug, um mit dem eigentlichen Versuch beginnen zu können. Sobald der Retorteninhalt kocht, dreht man die Flamme ganz klein. Gleich darauf erreicht der Salpetersäuredampf das Kupfer und dieses verbrennt unter Erglühen zu Kupferoxyd. Die Verbrennungsschicht ist nur etwa 2 cm lang, während das dahinter liegende Kupfer seine hellrote Farbe unverändert beibehält. Es ist darauf zu achten, daß der Prozeß nicht zu schnell verläuft, weil sonst das Kupfer anschmilzt und das Rohr beim Erkalten zerspringt. Nach etwa 3 Minuten werden 600 ccm Gas in die Glocke getreten sein. Damit ist der Versuch als solcher beendet. Nunmehr muß der Apparat 20 bis 30 Minuten zur Abkühlung sich selbst überlassen bleiben, wobei die Glocke mittelst des Klemmrings hoch gestellt ist, so daß Außen- und Innendruck gleich bleiben.



Am Schluß der Stunde wird das Rohr wieder auf die Wage gebracht und die Gewichtszunahme festgestellt (etwa 1,7 g), das Chlorcalciumrohr wird ebenfalls nachgewogen (etwa 0,35). Die Ablesung des Gasvolums ergibt ungefähr 500 ccm. Die ganze Analyse beansprucht demnach $^3/_4$ Stunden; aber von dieser Zeit kommen 35 Minuten auf Abwarten, währenddem der Unterricht ohne Rücksicht auf den Apparat weitergehen kann. Das Gas ist völlig geruch- und geschmacklos und leicht als reiner Stickstoff zu erweisen.

An den für Sauerstoff und Stickstoff erhaltenen Zahlen ist noch eine Korrektion anzubringen. Retorte und Rohr enthalten ja eine gewisse Menge Luft, deren Sauerstoff zum großen Teil von dem Kupfer gebunden wird. Bei unserem Apparat ergab sich durch Ausgießen mit Wasser der Luftraum in der Retorte zu 50 ccm, der des

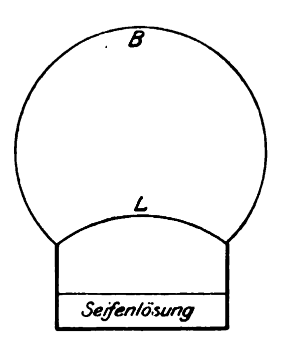


Rohrs zu 45 ccm. Nun werden aber beim Erhitzen des Rohrs etwa 30 ccm in die Glocke getrieben, so daß also nur 65 ccm Luft mit 14 ccm Sauerstoff zu berücksichtigen sind. Diese 14 ccm sind dem gefundenen Stickstoffvolum zuzuzählen, während ihr Gewicht von 0,02 g von der Gewichtszunahme des Rohrs in Abzug zu bringen ist. Beim letzten Versuch beispielsweise wurden 527 ccm Gas abgelesen, mithin ist das gesamte neu entstandene Stickstoffvolum $527 + 14 = 541$. Da die Temperatur $17,5^0$ C und der Druck 755 betrug, ist das reduzierte Gasvolum 495 ccm, mit dem Gewicht $495 \cdot 0,00125 = 0,62$. Das Rohr war um 1,85 schwerer geworden, das korrigierte Sauerstoffgewicht beträgt demnach 1,83. Im Chlorcalciumrohr fanden sich 0,39 Wasser. Diese Ziffern, durch die Atom- bzw. Molekulargewichte 14, 16, 18 ohne Rücksicht auf das Dezimalzeichen dividiert, ergeben 43, 114, 22, Zahlen, die sich verhalten wie $1,9 : 5 : 0,96$. Somit hat die Säure die Formel $N_2O_5 \cdot H_2O$. Drei andere Versuche ergaben fast die nämlichen absoluten, wie relativen Zahlen.

Die zugrunde gelegte chemische Reaktion ermöglicht eine wissenschaftlich genaue Elementaranalyse der Salpetersäure. Freilich bedingt die beschriebene schulmäßige Ausführung etwas weitere, aber völlig genügende Fehlergrenzen. Die Korrektion wegen der ursprünglich im Apparate vorhandenen Luft, kann, obgleich sie leicht verständlich und unerheblich ist, dadurch umgangen werden, daß man beim Beginn des Versuchs das Rohr und die Retorte ohne Schwefelsäure mit Stickgas füllt. Wie weit sich die Genauigkeit mittelst feinerer Hilfsmittel treiben läßt, gedenke ich noch selbst aufzuklären.

Für die Praxis.

Ein Versuch mit der Verdünnungsluftpumpe. Von Prof. Dr. **Theodor Springer** in Seitenstetten, N.-Ö. Lebhaftes Interesse bringen die Schüler den mannigfachen Versuchen entgegen, die sich mit der Verdünnungsluftpumpe anstellen lassen. Unter der Gruppe von „Versuchen über die Expansivkraft der Luft" beschreibt Rosenberg[1]) auch folgenden: „Man bringt ein kleines Gläschen mit Seifenlösung unter den Rezipienten. Durch rasches Umrühren mit einem Glasstäbchen hat man im Gläschen zuvor Schaum von kleinen Seifenbläschen erzeugt. Beim Evakuieren schwillt der Schaum beträchtlich auf." Dieses Schaumschlagen mit dem Glasstabe oder der von Weinhold empfohlenen Blechscheibe[2]) kann nun bei weniger guten Seifenlösungen Schwierigkeiten bereiten. Es kann aber zugunsten des ganzen Versuches überhaupt unterbleiben bei folgendem Vorgehen: Etwas Seifenlösung befinde sich in einem niedrigen zylindrischen Gefäße, z. B. in einer Kristallisierschale von 6 cm Durchmesser und 3 cm Höhe. Das Gefäß steht auf dem Teller der Luftpumpe. Mit Hilfe der primitivsten Blasröhre gelingt es leicht, eine Seifenlamelle über den Rand des Zylindergefäßes zu spannen und ihr durch weiteres Einblasen von Luft noch eine leichte Krümmung zu geben, so daß sie von den Schülern gesehen werden kann. (L in der Figur). Zieht man dann das Blasrohr vorsichtig weg, so bleibt die Seifenlamelle bestehen und schwillt nun bei darauffolgender Luftverdünnung im Rezipienten zu einer schönen großen Kugelblase (B) an.



[1]) Experimentierbuch, 3. Aufl., 1. Bd., S. 154.
[2]) Erwähnt bei Rosenberg, a. a. O.

Gedeckte und offene Röhren. Von **Dr. Büchner** in Reichenbach i. V. Schlägt man auf das Ende einer Röhre mit 1—2 Fingern, indem man dabei die Öffnung nur zur Hälfte bedeckt, so schwingt die Luftsäule wie bei der offenen Pfeife als ganze Wellenlänge. Schlägt man mit der flachen Hand, indem man die Öffnung ganz bedeckt, so schwingt die Luft als halbe Welle wie bei der gedeckten Pfeife. Führt man beides abwechselnd rasch hintereinander aus, so hört man recht deutlich den Tonhöhenunterschied von einer Oktave.

Elektrodynamische Kräfte zwischen Stromleitern. Von **Dr. G. Thomas** in Braunschweig. Um ohne Anwendung des Ampèreschen Gestelles die Wirkung zweier Stromleiter aufeinander zeigen zu können, beschreibt Rosenberg (Experimentierbuch, 2. Bd., S. 359) eine Anordnung mit zwei Lamettafäden. Da hier starke Ströme naturgemäß ausgeschlossen sind, so ist die Einwirkung schwach und nur im Projektionsbild zu erkennen; außerdem ist die wenn auch schwache Anspannung der Fäden im Gestell einer Abstandsänderung hinderlich. Beide Nachteile sind durch folgende Umgestaltung vermieden und damit unmittelbar erkennbare Wirkungen erreicht worden.

Der eine Lamettafaden ist durch einen langen Kupferdraht oder Messingstab ersetzt, der völlig mit isolierendem Lack überzogen ist und nach Rosenberg einen Pfeil zur Erkennung der Stromrichtung trägt. In ganz geringer Entfernung (2—3 cm) hängt daneben ein Lamettafaden herab, der mit dem anderen Stromleiter oben an einem Bunsenstativ eingeklemmt ist. Die Spannung des Fadens wird dadurch erreicht, daß sein unteres Ende in einer kurzen Schleife nach oben weitergeführt ist. Der Faden kann so fast widerstandslos den elektrodynamischen Kräften folgen. Das Ende wird schließlich über einen Schieberwiderstand und einen Stromwender mit der Stromquelle verbunden (220 Volt bei etwa 70 Ω). Der Messingdraht kann nun mit beliebig starkem Strom belastet werden und zieht dann den Faden heftig bis zur Berührung an oder stößt ihn so weit ab, daß die Wirkung auch aus großer Entfernung deutlich zu sehen ist.

Einfachste Demonstration elektrischer Oszillationen. Von **K. Reinig** in Heidelberg. Verbindet man die Pole der Sekundärspule eines Induktors mit der inneren und der äußeren Belegung einer Leydener Flasche, so wird die Flasche bei jeder Schwingung des Unterbrechers geladen. Die Entladung erfolgt durch die Sekundärspule selbst; sie ist oszillierend, jedoch sind die Oszillationen infolge der hohen Selbstinduktion des Induktors sehr verlangsamt. Setzt man nun eine Geißlersche Röhre mit der einen Elektrode auf den Knopf der Flasche, während die andere Elektrode frei endigt oder geerdet wird, so entstehen in ihr ebenfalls langsam oszillierende Resonanzschwingungen, welche die Röhre zum Leuchten bringen. Eine kleine H- oder N-Röhre mit engem Mittelstück, wie sie zu spektroskopischen Zwecken dient, zeigt die Erscheinung sehr leicht. Man kann auch die Röhre neben die Leydener Flasche stellen und die eine Elektrode leitend mit der inneren Belegung verbinden. Der rotierende Spiegel gibt, sehr langsam gedreht, Bilder der Röhre, die den einzelnen Schwingungen des Unterbrechers entsprechen. Schon bei mäßiger Geschwindigkeit des Spiegels lösen sich die Bilder in einzelne Streifen auf, welche die Oszillationen darstellen.



Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Die Messung hoher Temperaturen mit dem Strahlungspyrometer. Selbst in den größeren an Schulen gebrauchten Physiklehrbüchern findet man das Strahlungspyrometer nicht beschrieben. Und doch ist gerade das Gebiet der Wärmestrahlung für die gesamte heutige Technik von der größten Bedeutung. Die Messung sehr hoher Temperaturen, und zwar von etwa 1600° ab (der Grenze der Brauchbarkeit des Le Chatelier'schen Thermoelements) bis zu 3000° und höher gelingt nur noch mit dem Strahlungspyrometer, einem Instrument, das die auffallende Wärmestrahlung zur Temperaturmessung verwertet. Fig. 1 zeigt den großen Verwendungsbereich der Strahlungspyrometer im Vergleich zu anderen Temperaturmessern. Wenn die folgenden Zeilen dazu beitragen, daß bei Gelegenheit im Physikunterricht das Strahlungspyrometer als vorzügliches und einziges Instrument zur Messung hoher Temperaturen erwähnt wird, haben sie ihren Zweck erfüllt. Vielleicht wird auch der eine oder andere Physiklehrer dazu angeregt, sich ein Fery-sches Pyrometer mit den einfachsten Hilfsmitteln selbst herzustellen.

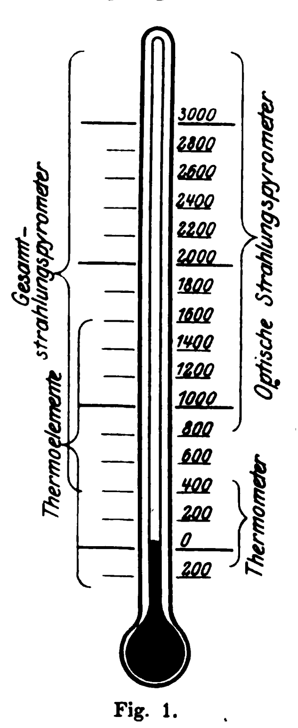


Fig. 1.

Die Strahlungspyrometer im weiteren Sinn, zu denen dann auch die optischen Pyrometer[1]), die nur die sichtbare Strahlung benutzen, gerechnet werden, ermöglichen eine Temperaturbestimmung, ohne daß das Instrument mit dem zu messenden Körper in Berührung kommt. Unter den Strahlungspyrometern im engeren Sinne versteht man allerdings nur solche Instrumente, bei denen die gesamte Strahlungsenergie (Licht und Wärmestrahlung) Verwendung findet, und nur von solchen Gesamtstrahlungspyrometern soll in den folgenden Zeilen die Rede sein.

[1]) Über die optischen Pyrometer von Wanner, Holborn-Kurlbaum, Henning u. a. siehe Burgeß und Le Chatelier, Die Messung hoher Temperaturen, Berlin 1913 und Henning, Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung, Braunschweig 1915.

Die Strahlungspyrometer entstanden aus dem Bedürfnis heraus, die Temperatur von Wärmequellen messen zu können, die der thermometrischen oder thermoelektrischen Temperaturmessung unzugänglich sind. Eine solche Wärmequelle ist z. B. die Sonne, und naturgemäß dienten die ersten Pyrometer, die sogenannten Pyrheliometer, wie schon der Name sagt, zur Temperaturbestimmung der Sonne. Pouillet hat als erster versucht, mit seinem Pyrheliometer die Temperatur unserer intensivsten Wärmequelle zu bestimmen. Zuverlässige Ergebnisse über die Temperatur der Sonne vermag indes das Pyrheliometer von Pouillet nicht zu liefern.

Auch das Aktinometer von Violle, bei dem als Empfangsapparat für die Wärmestrahlung die geschwärzte Kugel eines gewöhnlichen Thermometers benutzt wird, kann zuverlässige Ergebnisse nicht liefern. Bessere Ergebnisse erzielt man mit den Pyrheliometern von Angström, Michelson, den Aktinometern von Arago-Davy und Crova. Doch kann auf diese Apparate nicht näher eingegangen werden und sei deswegen hier auf das Lehrbuch von Chwolson (S. 624—627) verwiesen.

Bei dem Radiometer von Crookes wird die auffallende Strahlungsenergie dazu benutzt, ein äußerst leicht bewegliches Flügelrad in Bewegung zu setzen. Die Rotationsgeschwindigkeit vergrößert sich mit zunehmender Strahlungsintensität (Temperaturerhöhung), doch ist das Problem, die Abhängigkeit der Drehung von der Intensität der Strahlung zu ermitteln, bis jetzt noch nicht restlos gelöst worden[1]). Aus diesem Grunde haben auch die Radiometer bisher noch keine Verwendung in der Technik gefunden.

Ein wichtiger Fortschritt in der Entwicklung der Pyrometerkonstruktionen wurde erzielt, als Rosetti zum ersten Male statt des Thermometers eine Thermosäule aus 25 Wismut-Antimonelementen als Strahlungsempfänger benutzte. Die Stäbchen sind miteinander abwechselnd so gelegt, daß die ungeraden Lötstellen nebeneinander vorn, die geraden hinten liegen. (Lineare Thermosäule.) Die Enden der Thermosäule werden mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden. Beim Gebrauch werden die kalten Lötstellen auf Zimmertemperatur gehalten, während die anderen Lötstellen der Wärmestrahlung ausgesetzt werden.

[1]) W. H. Westphal, Über das Radiometer. Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 21. 129—143. 1919.



Ein anderes Mittel zur Messung der Temperatur, das dem Thermoelement und der Thermosäule an Genauigkeit und Feinheit der Beobachtung weit überlegen ist, besteht in dem Bolometer, das erstmalig von Langley angewandt wurde. In der Praxis wird das Bolometer aus einer Wheatstone'schen Brücke (Fig. 5) gebildet,

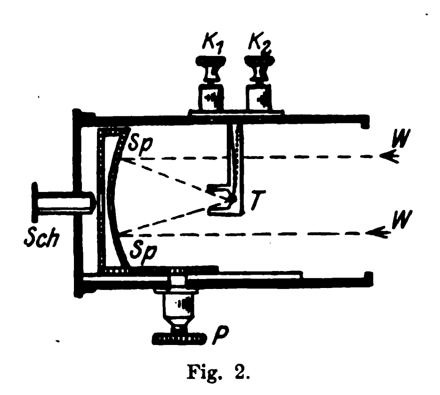


Fig. 2.

in deren beide Zweige 1 und 4 je eine dünne Platinspirale, die bei gleicher Temperatur gleichen Widerstand haben, eingeschaltet ist. Wird die eine Spirale von Wärmestrahlen getroffen, so erwärmt sie sich und vermehrt somit ihren Leitungswiderstand. Das in die Brücke eingeschaltete Galvanometer G, das bei gleicher Temperatur der beiden Drahtspiralen in Ruhe war, wird nun infolge des in der Brücke auftretenden Stromes ausschlagen.

Weitere Verbreitung haben neuerdings das Strahlungspyrometer von Fery und das Strahlungspyrometer von Hirschson[1]), gefunden. Das erstgenannte Instrument benutzt als Strahlungsempfänger ein sehr empfindliches Thermoelement, während das Strahlungspyrometer von Hirschson im Prinzip ein Bolometer genannt werden kann.

Die am meisten gebräuchlichste Form des Fery-Pyrometers besitzt folgende Anordnung (Fig. 2 und 3): Die durch die Öffnung eines Hohlzylinders fallende gesamte Strahlung (Licht- und Wärmestrahlung) wird ohne vorherige spektrale Zerlegung, wie dies bei den optischen Pyrometern der Fall ist, durch einen vergoldeten Hohlspiegel *Sp* auf die Lötstelle T eines Thermoelements geworfen, dessen Drähte zu zwei Anschlußklemmen K_1 und K_2 führen. Die Lötstelle des Eisen-Konstantan-Thermoelements ist durch ein geschwärztes Silberblättchen verbreitert und so zur Absorption der hier konzentrierten Wärmestrahlen vorzüglich geeignet. Der in der Achse des Zylinders durch Zahnstangentrieb P verschiebbare Hohlspiegel ist in der Mitte durchbohrt, so daß man mit Hilfe eines Schauglases oder Okulares *Sch* das Bild des vom Hohlspiegel entworfenen glühenden Körpers beobachten kann. Die Lötstelle muß im Bildpunkt der strahlenden Öffnung liegen und vom Bilde ganz ausgefüllt sein. Ersteres wird durch Verschieben des Hohlspiegels erreicht und daran erkannt, daß das Bild der strahlenden Öffnung, das man in zwei, die Lötstelle umgebenden, gegeneinander geneigten Spiegeln sieht, ununterbrochene Konturen hat. Die thermoelektromotorische Kraft des Elements ist nahezu der 4. Potenz der Temperatur proportional. Die Empfindlichkeit des Fery-Pyrometers ist sehr beträchtlich (1,3 Millivolt bei 1200°), da durch den vergoldeten Hohlspiegel eine verhältnismäßig große Energiemenge konzentriert werden kann. Das Zeigergalvanometer, das an die Anschlußklemmen des Thermoelements angeschlossen wird, kann mit einer Temperaturskala und mit einer Registriereinrichtung versehen sein. Um die Meßgenauigkeit bei gegebener Skalenlänge möglichst groß zu machen, kann man ein Galvanometer mit zwei Meßbereichen anwenden. Erstreckt sich der 1. Meßbereich etwa von 400° bis 1200° C, so wird bei der Messung höherer Temperaturen vor die Öffnung des Pyrometerrohres ein Diaphragma B mit sektorförmigem

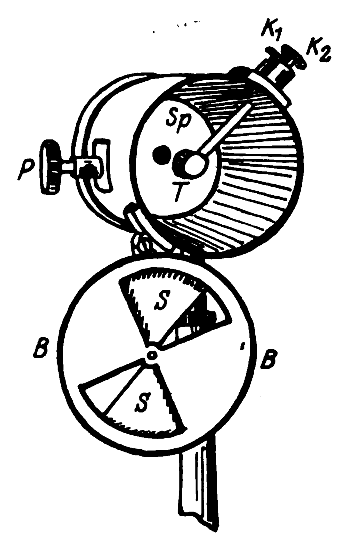


Fig. 3.

Querschnitt S geklappt. Durch diese Verkleinerung der Öffnung geht der Ausschlag des Galvanometers erheblich zurück, und es können die höheren Temperaturen bis etwa 2000° jetzt an der für den 2. Meßbereich gültigen Skala abgelesen werden. Das Pyrometer von Fery besitzt gegenüber den optischen Pyrometern den Vorteil, daß es eine Temperaturmessung bis herunter zu 400° erlaubt, und daß seine Anzeigen wie die

[1]) F. Hirschson, Ein neues Pyrometer. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1918, S. 552.

eines gewöhnlichen Thermoelements registriert werden können. Dagegen erfordern die Pyrometer eine ziemlich große Öffnung des strahlenden Körpers, ferner müssen sie an mehreren Punkten empirisch geeicht werden, da die Bedingungen für die strenge Anwendbarkeit des Stefan-Boltzmann'schen Gesetzes, das ihnen im Prinzip zugrunde liegt, bei den Instrumenten nicht hinreichend erfüllt ist.

Statt des vergoldeten Hohlspiegels hat Fery bei einer veränderten Konstruktion seines Pyrometers als optisch abbildenden Teil Linsen benutzt, die natürlich, falls die Thermokraft der 4. Potenz der Temperatur proportional sein soll, aus Flußspat, einem diathermanen Medium, bestehen müssen.

Noch eine andere Methode zur Registrierung der Strahlung, die durch einen Hohlspiegel konzentriert wird, soll hier angegeben werden. Fery benutzt bei seinem sog. Spiralpyrometer statt des Galvanometers und des Thermoelements eine Feder aus zwei Metallen, die sich in dem Brennpunkt des Hohlspiegels befindet. Sobald Strahlung auf die Feder fällt, wird hierdurch eine differentiale Ausdehnung derselben verursacht, und ein an der Feder befestigter Zeiger bewegt sich über einer in Temperaturgraden geeichten Skala. Das Fery'sche Spiralpyrometer ist äußerst einfach in der Handhabung, besitzt aber die Fehler eines Federinstrumentes, wie z. B. die Veränderung des Nullpunktes und die langsame Einstellung (Kriechen) und kann deswegen nur in den Fällen Anwendung finden, wo keine große Genauigkeit verlangt wird.

Der Grundtypus des Fery'schen Pyrometers ist im Laufe der Zeit vielfach verändert worden. Thwing ersetzt bei seinem Pyrometer (Fig. 4)

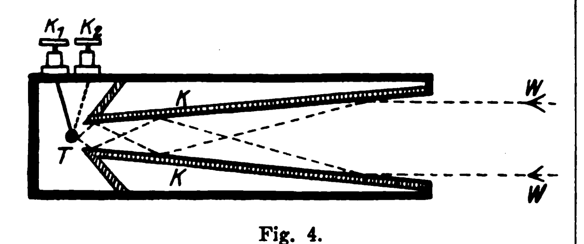


Fig. 4.

den Hohlspiegel durch einen glänzenden Konus K, der durch wiederholte Reflexion die Strahlen an seiner engsten Stelle auf ein Thermoelement T vereinigt, und umgeht so die Brennpunktseinstellung des Fery'schen Hohlspiegels. Foster beseitigt den beweglichen Spiegel, indem er das Thermoelement und die Öffnung des Pyrometers an konjugierte Punkte eines feststehenden vergoldeten Hohlspiegels bringt und so das Fery-sche Spiegelteleskop in ein Pyrometer mit festem Brennpunkt verwandelt.

Brown verwendet bei seinem im Prinzip den zuvor genannten Pyrometern gleichen Instrument zwecks Erleichterung der Einstellung einen Sucher, wie er bei photographischen Apparaten Verwendung findet. Whipple versieht das Foster'sche Pyrometer mit einem langen Rohr, das mit seinem geschlossenen Ende direkt an die heiße Stelle herangeführt wird. Er vermeidet hierdurch ebenfalls jede weitere Einstellung und macht außerdem die Angaben seines Instrumentes noch unabhängig von der Natur des Ofens, dem Material, dessen Temperatur bestimmt werden soll und dem Medium, das sich zwischen Ofen und Pyrometer befindet, und dessen Einfluß auf die Angaben des Pyrometers nicht zu gering veranschlagt werden darf.

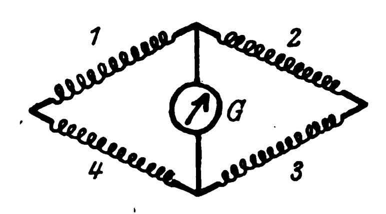


Fig. 5.

Bei dem Fery'schen Pyrometer und seinen verschiedenen Abarten muß die auffallende Wärmestrahlung durch Spiegel, Linsen oder andere optische Teile konzentriert werden; das Strahlungspyrometer von Hirschson hingegen entbehrt einer jeden Wärmestrahlen-sammelnden Einrichtung. Bei ihm findet das Bolometer Langley's in verbesserter Form Anwendung. Während bei diesem zwischen zwei benachbarte Zweige der Wheatstone'schen Brücke je eine feine Drahtspirale aus einem Metall von hohem Temperaturkoeffizienten eingeschaltet ist, sind bei dem Instrument von Hirschson (Fig. 5) alle vier Zweige (1, 2, 3, 4) der Brücke aus solchem Metall hergestellt. Es werden aber nur zwei gegenüberliegende Zweige (1 und 3 oder 2 und 4) der Erwärmung durch Strahlung ausgesetzt. In diesem Fall wirken die beiden Zweige einander unterstützend, so daß die Empfindlichkeit verdoppelt wird. Der Teil a des Pyrometers (Fig. 6) enthält das Bolometer, das aus vier kleinen Spiralen aus sehr dünnem Platindraht hergestellt ist. Die Zweige 1 und 3 werden von der durch das offene Rohr b in das Pyrometer gelangenden Strahlung getroffen, während die Zweige 2 und 4 vor dieser Strahlung durch das geschlossene Rohr c geschützt sind. Die durch die Erwärmung hervorgerufene Widerstandsänderung der bestrahlten Zweige 1 und 3 bedingt, wenn vorher



bei gleicher Temperatur der vier Zweige die Brücke stromlos war, nunmehr einen Ausschlag

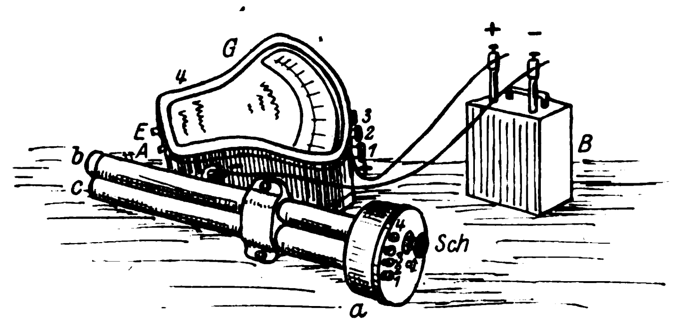


Fig. 6.

des Galvanometers *G*. Die Hilfsspannung für das Galvanometer liefert die Batterie *B*. Das Galvanometer besitzt zwei Anschlußklemmen (+ und —) für die Batterie und vier Anschlußklemmen (1, 2, 3, 4), von denen Drähte zu den Klemmen 1, 2, 3, 4 des Pyrometers führen. Die Temperaturskala des Galvanometers kann, wie die des Fery-Pyrometers, ebenfalls für zwei Meßbereiche eingerichtet sein, die Ablesungen können automatisch registriert werden. Bis zu einem gewissen Grad ist das Pyrometer auch von der Entfernung der Strahlungsquelle unabhängig, sobald nur die strahlende Fläche einen gewissen, im Verhältnis zum Abstand stehenden Mindestdurchmesser hat. Genaueres über die Anwendbarkeit dieses Pyrometers in der Technik findet man bei G. Berndt, Untersuchung zweier Strahlungspyrometer [1]). *K. Gentil, Thorn.*

[1]) Mitteilung aus dem physik. Labor. d. opt. Anstalt C. P. Goerz, Berlin-Friedenau).

2. Forschungen und Ergebnisse.

Über den Äther. Im Gegensatz zu Einstein, der die Annahme eines Äthers mit dem Relativitätsprinzip nicht für vereinbar hält, treten andere Forscher neuerdings wieder sehr lebhaft für den Äther ein. Schon P. Gerber hatte, gestützt auf die Äthervorstellung, bereits 1902 die bis dahin unerklärte Bewegung des Perihels der Merkurbahn von 41″ in einem Jahrhundert auf Zeitverbrauch bei einer räumlichen Ausbreitung der Gravitation im Äther zurückgeführt und diese gleich der Lichtgeschwindigkeit gefunden [1]). Allerdings gelangte Einstein 12 Jahre später durch Annahme einer verallgemeinerten Gültigkeit des Relativitätsprinzips ohne Äther zu dem gleichen Wert für die Ausbreitung der Gravitationsfelder. Wie Lenard hervorhebt, beeinträchtigt dieses Ergebnis aber keineswegs die Bedeutung der aus dem Äthergedanken hervorgegangenen Gerberschen Untersuchung [2]). Er ist der Meinung, daß das Relativitätsprinzip den Äther nicht ausschließe; die vielfach hervorgetretene Abneigung gegen den Äther liege in der unvollkommenen Vorstellung über ihn. Man müsse einen der kinetischen Gastheorie analogen Äthermechanismus zu entwickeln und die Maxwellschen Gleichungen aus ihm herzuleiten suchen. Lenard nimmt den Äther als räumlich diskontinuierlich, bewegt, durchdringlich an. Die Teile des Äthers bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit und durchdringen einander; außerdem sind sie durch das Streben nach gleichmäßiger räumlicher Konzentration und geradester Bahn beherrscht. In diesem Äther befinden sich eine Anzahl diskreter Wirbelfäden, je einer von jedem negativen Elektron zum zugehörigen positiven Quant sich erstreckend; außerdem sind auch eine Anzahl geschlossener, von solchen Fäden abgeschnürter Wirbelringe vorhanden. Diese Wirbelfäden des Äthers machen die elektrischen Kräfte aus; ihre abgeschnürten Teile sind die elektrischen Wellen. Die Fortbewegung der Wirbelfäden erzeugt Querströmungen des Äthers, welche die magnetischen Kräfte darstellen. Die Stärke des Magnetfeldes beruht auf der Zahl der von der Querströmung ergriffenen Ätherteile. Die Materie besteht aus kreisenden Elektronen (Dynamiden), die selbst Ätherströme ergeben und von den Strömen anderer Dynamiden ergriffen werden. Die Dynamiden sind fähig, genügend schnell mit der Orientierung ihrer Strombahnen den einzelnen Ätherteilen zu folgen, die dann im Sinne der Anziehung wirken; die Gravitation wäre hiernach gewissermaßen das Resultat der magnetischen Kräfte der Einzeldynamiden.

Einen Hauptgrund gegen die Annahme eines Äthers bildete die aus dem Michelsonschen Spiegelversuch gezogene Folgerung, daß die Erde den Äther mit sich führen müßte, während dieses mit der Aberration des Sternenlichts nicht vereinbar sei. Doch haben Lorentz und E. Gehrcke (in Drudes Optik) gezeigt, daß die Stokessche Theorie der Aberration sich so modifizieren läßt, daß sie die Annahme eines mit der Erde

[1]) Progr. d. Realgymn. Stargard i. P. 1902; Ann. d. Physik **52**, 415 (1917).

[2]) Jahrbuch d. Radioaktivität u. Elektronik **15**, 117 (1918).

mitbewegten Äthers zur Erklärung der Aberration gestattet[1]). Verschiedene Laboratoriumsversuche, wie der, daß strömendes Wasser einen hindurchgehenden Lichtstrahl nicht beeinflußt, würden allerdings gegen eine Mitführung des Äthers durch bewegte Körper sprechen. Es kann indessen doch sein, daß der Äther wohl von großen, sehr rasch bewegten Massen, wie die Erde, mitgeführt wird, nicht aber von kleineren Massen geringer Geschwindigkeit. Ein neuerer Versuch von Sagnac bestätigt die Nichtbewegung des Äthers bei langsam bewegten Massen[2]). Eine Spiegelanordnung zur Erzeugung von Interferenzstreifen rotiert einschließlich der Lichtquelle auf einer Scheibe; dabei entsteht eine der Rotationsgeschwindigkeit proportionale Verschiebung der Interferenzstreifen. Diese müßte ausbleiben, wenn der Äther bei der Rotation mitgenommen würde. Der sehr lehrreiche Versuch macht eine absolute Rotation optisch nachweisbar. Gelänge es, den gleichen Versuch bei einer geradlinigen Bewegung auszuführen, so müßte er die von Michelson vergeblich gesuchte Verschiebung der Interferenzstreifen ergeben.

E. Budde ist der Meinung, daß die Schwierigkeiten in betreff des Äthers vielleicht darauf beruhen, daß man Störungen im Äther mit dem Äther selbst verwechselt[3]). Die optischen Beobachtungen ließen nur Schlüsse zu auf Eigenschaften des elektromagnetischen Feldes, nicht aber auf das Substrat dieses Feldes, den Äther.

[1]) E. Gehrcke, Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **20**, 165 (1918); **21**, 67 (1919).
[2]) C. R. **157**, 708 (1913).
[3]) Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **21**, 125 (1919).

Auch L. Zehnder entwickelt eine besondere Äthertheorie[1]). Nach ihm besteht der Äther aus kleinsten Teilen, den Ätheratomen, die im Vergleich mit den Körperatomen sehr klein, aber, wie diese der Schwere unterworfen und vollkommen elastisch sind. Sie haben eine Eigengeschwindigkeit von der Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit. Jedes Körperatom hat seine, aus zusammengepreßten Ätheratomen bestehende Ätherhülle, ebenso jedes Molekül, jeder Körper. Die Ätherhülle der Erde bewirkt das negative Ergebnis des Michelsonschen Versuchs. Durch den äußeren Ätherdruck ist der Äther dieser Hüllen so stark zusammengepreßt, daß er sich wie ein fester oder flüssiger Körper verhält. Im Äther gibt es Räume, in denen die Ätheratome größere oder kleinere Geschwindigkeit haben als in ihrer Umgebung. Daraus ergibt sich die Elektrizität als „Wärme des Äthers“, das Licht als „Schall im Äther“, das elektrische Potential als „Temperatur des Äthers“. Das Elektron wäre eine große Anzahl von Ätheratomen mit vergrößerter „Wärme“; es hat eine „scheinbare Masse“, die um so größer ist, je schneller sich das Elektron bewegt. Das Wasserstoffatom besteht aus einem kugelförmigen elastischen Atomkern und der Ätherhülle. Die Eigenschwingungen der letzteren bilden die Spektrallinien der Balmerserie; hierbei auftretende Schwebungen langwelligere Spektrallinien. Je größer das Atomgewicht eines Elementes ist, um so verwickelter werden die Spektralserien, die aber immer eine gewisse Ähnlichkeit mit der einfachen Wasserstoffserie haben werden. *Schk.*

[1]) Verh. d. Deutschen Phys. Ges. **21**, 118 (1919).

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten. Von P. Lenard. Abh. d. Heidelb. Akad. d. Wissensch. Math.-Naturw. Klasse, 5. Abh. 1918. 266 S. 7 Kurventafeln. 4 Textabb.

In der vorliegenden umfangreichen Arbeit gibt der Verf. eine einheitliche und präzise Zusammenstellung aller wohldefinierten quantitativen Daten über die Kathodenstrahlen auf Grund einer systematischen Bearbeitung der gesamten Literatur des Gebietes. Daß für eine solche zusammenfassende Darstellung ein wirkliches Bedürfnis besteht, zeigt der Umstand, daß die zahlenmäßigen Ergebnisse der Messungen an Kathodenstrahlen in physikalischen Tabellen im allgemeinen ungebührlich vernachlässigt sind. So ist z. B. in dem umfangreichen Tabellenwerk von Landolt und Börnstein (1912) nicht das mindeste über Absorption, Sekundärstrahlung und Geschwindigkeitsverlust von Kathodenstrahlen zu finden, obwohl darüber teilweise Daten vorliegen, die von anderen aufgenommenen an Brauchbarkeit nicht übertroffen werden. Von wirklichem Nutzen konnte aber bei dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse nur eine kritische Darstellung sein, da nach Ansicht des Verf.'s in der Literatur über die Kathodenstrahlen sich vielfach Irrtümer eingeschlichen haben, die zum Teil auf unscharfe Begriffsbildungen und Definitionen, zum Teil auf hartnäckig übersehene prinzipielle Beobachtungsfehler zurückzuführen sind.

In einem allgemeinen Teil (S. 18—46) wird zunächst die scharfe Kritik, die der Verf. an vielen Arbeiten glaubte üben zu müssen, im Umriß begründet. Insbesondere die Arbeiten über Absorption haben unter Beobachtungsfehlern (Rein-

heitsfehler der Auffangevorrichtung, irrige Annahmen über die Inhomogenität der Strahlung usw.) gelitten. Doch finden sich auch Fehlschlüsse in bezug auf Geschwindigkeitsverluste und Sekundärstrahlung. Bei der Darstellung des Absorptionsvorganges selbst vermißt man sogar in maßgebenden Werken oft eine scharfe Festsetzung der grundlegenden Begriffe. Der Verf. tritt für die Definition der Intensität der Kathodenstrahlen als der Elektronenzahl pro sek. und cm² (nicht ihrer Energie pro sek. und cm²) ein. Dann gilt in erster Annäherung für die Abnahme der Strahlintensität bei zunehmender Schichtdicke ein Exponentialgesetz. Über das Wesen der Absorption wird dann die vom Verf. schon 1894–1903 entwickelte Theorie zugrunde gelegt, deren wesentlicher Zug die Plötzlichkeit der Ausschaltung eines Elektrons aus dem Strahl beim Auftreffen auf den absorbierenden Querschnitt ist. Scharf hiervon geschieden werden die Vorgänge der Diffusion und Reflexion, die von verschiedenen Autoren fälschlich neben den Geschwindigkeitsverlusten als eigentliche Ursache der Absorption angesehen werden.

In dem Speziellen Teil (S. 49–248) wird dann im einzelnen ausführlich behandelt: 1. Der Geschwindigkeitsverlust der Kathodenstrahlen in Abhängigkeit von der Dicke der Schicht des durchstrahlten Mediums. 2. Die „Grenzdicke“, d. h. die Schichtdicke des Mediums, welche die Strahlgeschwindigkeit auf Null reduziert. 3. Die Absorption. 4. Der Intensitätsabfall. 5. Die Sekundärstrahlung. 6. Die Energieverhältnisse bei Absorption, Sekundärstrahlung und bei dem Grundvorgang, dem Zusammentreffen eines bewegten Elektrons mit einem Atom und 7. Die Diffusion und die damit verwandten Erscheinungen der „Rückdiffusion“ und der Reflexion. Überall wird besonderer Nachdruck auf eine scharfe Definition der Begriffe und Trennung der oft sehr komplexen Vorgänge in ihre Einzelbestandteile gelegt. Die Ergebnisse werden in Tabellen und Kurventafeln so niedergelegt, daß aus ihnen die bei Berücksichtigung aller dem Verf. einwandfrei erscheinenden Beobachtungen sich ergebenden wahrscheinlichsten Werte entnommen werden können. Formelmäßige Darstellungen werden zwar, soweit sie bereits bestehen, auch angeführt, aber nicht als maßgebend betrachtet, um nicht den Anschein zu erwecken, als sei das Gebiet theoretisch erschlossen, dessen zahlenmäßige Grundlagen noch nicht einmal kritisch gesichtet sind.

Um das geschlossene Bild, das der Verf. angestrebt hat, von dem zahlenmäßig gesicherten Bestande unserer Kenntnisse von den Kathodenstrahlen zu gewinnen, mußte eine kritische Bewertung der sich oftmals widersprechenden Arbeiten und vielfach eine Umrechnung der Angaben der Autoren erfolgen. Daß dieses Vorgehen auf manchen Widerspruch stoßen wird, ist zu erwarten. Trotzdem wird die sehr verdienstvolle Zusammenstellung aller vorhandenen Daten unter einem bestimmten, wenn auch subjektiven Gesichtswinkel bei allen kommenden Diskussionen einen überaus wertvollen Ausgangspunkt bilden.

F. Hoffmann.

Das Auge und die Brille. Von M. v. Rohr. Zweite Auflage. 105 S. 84 Abb. Leipzig, B. G. Teubner, 1918. M. 1,20, geb. 1,50. (Aus Natur u. Geisteswelt, Bd. 372.)

Die Brillenkunde ist ein Wissensgebiet von großer praktischer Bedeutung, das aber lange Zeit hindurch selbst in Fachkreisen keine genügende Pflege gehabt hat. Kein Wunder, daß in weiteren Kreisen recht verkehrte Ansichten verbreitet sind. Es ist also sehr zu begrüßen, daß einer der besten Kenner sich bereit gefunden hat, eine Darstellung zu geben, die ohne besondere Anstrengung mit etwas Aufmerksamkeit von jedermann aufgefaßt werden kann. Gegen die erste Auflage besteht der Unterschied wesentlich nur in der Ersetzung vieler Fremdworte durch deutsche Bezeichnungen. Ein Unbesonnener kann dabei Schaden anrichten, es ist selbstverständlich, daß ein Mann wie der Verfasser in solche Gefahr nicht gerät, im Gegenteil hat durch glücklich gewählte Verdeutschungen die Anschaulichkeit der Darstellung mehrfach gewonnen. Die Anschaffung des Büchleins sei dringend empfohlen! Der Physiklehrer wird daraus erkennen, daß manches im Unterricht anders dargestellt werden muß, als es herkömmlich ist. *W. Vn.*

Angewandte Elektrizitätslehre. Ein Leitfaden für das elektrische und elektrotechnische Praktikum von Prof. Dr. Paul Eversheim, Privatdozent für angewandte Physik an der Universität Bonn. Mit 215 Textfiguren. VIII und 214 Seiten. Berlin, Julius Springer, 1916. M. 8,—, gebunden M. 9,—.

Das Werk ist besonders für Hochschulpraktika bestimmt und wendet sich „an Studierende der Universitäten sowie an solche, die etwa am Beginne ihrer technischen Studien stehen“, will aber auch für diejenigen von Nutzen sein, die „bei Ausübung ihres Berufes genötigt sind, kleinere Anlagen zu errichten und zu leiten“. Das dürften in erster Linie die Vertreter des physikalischen Unterrichts an den höheren Lehranstalten sein, und in der Tat bietet ihnen das Buch viele schätzenswerte Anregungen für Praktikumsaufgaben, sowie für die Beschaffung und Benutzung von Apparaten und Maschinen. Der in drei Teile gegliederte Inhalt umfaßt den Gleichstrom, den Wechselstrom, den Magnetismus, die Akkumula-

toren und die Photometrie; Elektrostatik und elektrische Schwingungen werden also nicht behandelt, und auch in den behandelten Kapiteln wird man manches nicht finden, was der Titel erwarten lassen könnte: ein Nachschlagewerk ist es nicht. Dafür verschafft aber das Gebotene dem Leser Genuß und Gewinn genug durch den angenehmen Fluß der Sprache, die Durchsichtigkeit der Gedanken und die guten und zahlreichen Abbildungen. An besonderen Kenntnissen wird fast nichts vorausgesetzt, vielmehr werden die Grundgesetze in allen Kapiteln kurz entwickelt. Besonders eingehend und anziehend sind die Übungen an Dynamos und Elektromotoren, sowie an den Antriebsmaschinen der ersteren besprochen: Der Leser erkennt aus den berechneten Nutzeffekten deutlich, welche großen Fortschritte Wissenschaft und Technik in den letzten Jahrzehnten gemacht haben. Dem Werke wäre für eine hoffentlich baldige Neuauflegung eine Erweiterung in dem oben angedeuteten Sinne zu wünschen. *F. Hochheim.*

Aus eigner Kraft. Bilder von deutscher Technik und Arbeit. Von Carl Weihe. Für die reifere Jugend. 139 Seiten, 20 Abbildungen. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1919. Kart. M. 3,60, geb. 4,60.

In dem vorliegenden Bändchen schildert der Verfasser, wie es uns durch erstaunliche Anpassung der Technik an neue Aufgaben und durch die Arbeit hervorragender Erfinder möglich war, über vier Jahre lang trotz des Ausfalles wichtigster Rohstoffe nicht nur den Bedarf des Volkes, sondern auch den unerhörten Aufwand des Weltkrieges zu decken. Die Eigenschaften verschiedener Eisensorten, ihre Gewinnung und Bearbeitung, Luftschiffahrt, Salpeter aus Luft, Geschütze, Geschosse, Sprengstoffe, Ernährung, Kleidung, Kohle, Wasserkraft, Gliederung einer Riesenfabrik, Papiergeld, Golddeckung und noch vielerlei wird geschildert und durch gute Bilder aus der großen Technik veranschaulicht. Den zusammenhaltenden Rahmen bildet die Erzählung der Erlebnisse von Mitgliedern einer Familie, die mit dem Geschilderten in Berührung kommen. Im Entwurf erfüllt das Buch, was das Vorwort verspricht, wenn es sagt: „Vielleicht bringt es in der Art der Darstellung Beachtenswertes". Aber die Ausführung im einzelnen leidet schwer unter dem Mißverhältnis des überreichen Stoffes zum knappen Raum. Es kommt ein überhasteter Stil zustande, der beunruhigend wie das flimmernde Lichtbild den Leser weiter hetzt. Sätze sind dem Verfasser entschlüpft, die er bei etwas mehr innerer Ruhe nicht hätte stehen lassen. Aber einige Seiten zeigen doch, was Weihe aus dem Stoff machen kann, wenn er sich nicht hetzen läßt. Möge er, der für die Gefühlswerte der Technik so feines Verständnis hat, nochmals versuchen, zur deutschen Jugend zu reden, und wenn ihm dann wieder der Stoff unter den Händen zu sehr anschwillt, in Dritteln geben, was in ungeteilter Gabe zu viel wird. *W. Vn.*

Lehrbuch der Experimentalphysik für höhere Lehranstalten. Von Dr. Wilhelm Donle. 9. und 10. verb. Auflage. Mit 464 Abb. im Text, 1 Spektraltafel, 620 Aufgaben und zahlreichen Übungen für das Schülerpraktikum. Stuttgart, Fr. Grub, 1918. Geb. M. 4,80 einschl. Teuerungszuschlag.

Das bewährte Lehrbuch bringt in der neuen Auflage eine ganze Reihe von neu aufgenommenen Gegenständen wie Kreiselbewegung, Dampfturbinen u. a. m., ist aber in allem Wesentlichen unverändert geblieben. Die hauptsächlich durch Rechnung zu lösenden Aufgaben sind geschickt zusammengestellt, den „Übungen" für das Praktikum sind, zumeist keine Vorschriften für die Ausführung beigegeben, was auch in einem Lehrbuch das Angemessenste sein dürfte. *P.*

Vorschule der Physik. Von Prof. Dr. Paul Spies. Ausgabe B (ohne Anhang „Chemie"). Mit 269 Abb. und 1 Spektraltafel. 192 S. Berlin, Vinckelmann u. Söhne, 1919.

Die bisherige „Elementarphysik" von Hermes und Spies war ein Auszug aus dem größeren „Grundriß der Experimentalphysik" von Jochmann, Hermes und Spies, und litt an den Übelständen, die ein solcher bloßer Auszug zu haben pflegt. Der Verfasser hat sich daher entschlossen, für den Anfangsunterricht, im besonderen in den Mittelklassen höherer Schulen, das vorliegende Hilfsbuch ganz neu zu schreiben. Er hat sich dabei die mancherlei Fortschritte der Methodik und der Illustration, die andere neuere Leitfäden für den gleichen Zweck zeigen, zunutze gemacht. Die Auswahl des Stoffes entspricht dem Zweck des Buches, das sich sicher Freunde gewinnen wird. — Eine Ausgabe A mit Anhang „Chemie" ist gleichfalls erschienen. *P.*

Korrespondenz.

In dem Aufsatz von H. Schüepp, „Dynamik der Seilwellen" im 4. Heft d. Jahrgangs ist bei Fig. 7 auf S. 112 als Erklärung hinzuzufügen:

$$n_1 = 0{,}17157 \qquad L' = L''$$
$$n_2 = 3 \qquad -k' = k''$$
$$n_3 = 5{,}8284 \qquad L' = L''.$$

Himmelserscheinungen im Oktober und November 1919.

12^h = Mittag, 0^h und 24^h = Mitternacht. (MEZ = Berliner Zeit + 6^m.)

MEZ 12^h		Oktober 3	8	13	18	23	28	November 2	7	12	17	22	27
☿	AR	$12^h 52^m$	13.23	13.52	14.21	14.50	15.19	15.47	16.14	16.39	16.58	17.7	17.0
	D	-5^0	−8	−12	−15	−18	−20	−22	−24	−25	−25	−25	−23
♀	AR	$10^h 41^m$	10.44	10.50	10.59	11.10	11.23	11.38	11.54	12.11	12.29	12.48	13.7
	D	2^0	3	3	3	3	3	2	1	0	−2	−3	−5
⊙	AR	$12^h 34^m$	12.52	13.10	13.29	13.48	14.7	14.26	14.46	15.6	15.26	15.48	16.9
	D	$-3{,}7^0$	−5,6	−7,5	−9,3	−11,1	−12,9	−14,5	−16,1	−17,5	−18,8	−20,0	−21,0
♂	AR	$9^h 54^m$	10.6	10.18	10.30	10.41	10.52	11.3	11.14	11.25	11.36	11.46	11.56
	D	14^0	13	12	11	10	9	8	7	5	4	3	2
♃	AR		$9^h 3^m$		9.9		9.14		9.18		9.21		9.23
	D		17^0		17		17		16		16		16
♄	AR	$10^h 35^m$						10.46					
	D	11^0						9					
Sternzeit [1]		$12^h 44^m$ 24^s	13.4. 6	13.23. 49	13.43. 32	14.3. 15	14.22. 57	14.42. 40	15.2. 23	15.22. 6	15.41. 49	16.1. 32	16.21. 14
Zeitgl.		$-10^m 39^s$	−12.9	−13.29	14.37	−15.28	−16.3	16.20	16.17	15.53	−15.7	−14.1	−12.34

Breite von Berlin. Ortszeit. Mittelpunkt von ⊙ und ☾

		Okt. 3	8	13	18	23	28	Nov. 2	7	12	17	22	27
⊙	Aufg.	$6^h 4^m$	6.13	6.22	6.31	6.40	6.49	6.58	7.8	7.17	7.26	7.35	7.43
	Untergang	$17^h 33^m$	17.22	17.10	16.59	16.49	16.38	16.28	16.19	16.11	16.4	15.57	15.52
☾	Aufg	$14^h 30^m$	16.34	19.46	0.27	6.16	11.11	13.48	15.58	21.0	1.52	7.19	11.1
	Untergang	$23^h 37^m$	4.38	11.16	14.35	16.21	19.24	—	6.14	11.39	13.44	15.52	20.19

[1]) Im Stargarder Meridian.

Venus im größten Glanz als Morgenstern: Oktober 20.

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	Sept. 24^d $5^h 34^m$	Okt. 2^d $9^h 37^m$	Okt. 9^d $14^h 39^m$	Okt. 16^d $6^h 5^m$
	Okt. 23^d $21^h 40^m$	Nov. 1^d $2^h 43^m$	Nov. 8^d $0^h 35^m$	Nov. 14^d $16^h 41^m$
	Nov. 22^d $16^h 20^m$	Nov. 30^d $17^h 47^m$	Dez. 7^d $11^h 4^m$	

Der **Mond** tritt an folgenden Tagen (MEZ) in die abgerundeten **Sternbilder** des **Tierkreises:**

Sternbild	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs	
Länge	25°	55°	85°	115°	145°	175°	205°	235°	265°	295°	325°	355°	
Sept.								28	. 1	3	6	8	Okt.
Okt.	10	12	14	16	18	21	23	26	28	31	. 2	4	Nov.
Nov.	6	8	10	12	14	17	19	22	24	27	29	. 2	Dez.

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	♀ Dämm.Stufe 6½° Morgenstern		♂ (11°) L vorm.		♃ (10°) K vorm. nachm.	vorm.	♄ (11°) L vorm. nachm.	vorm.	
IX 18	(IX 21, $5{,}1^h$)		A 1,9	D 4,5	A 1,3 v	D 4,6	A 3,7 v	D 4,5	☿ bleibt unsichtbar
X 8	A $3{,}4^h$	D $5{,}6^h$	A 1,8	D 5,1	A 0,3 v	D 5,2	A 2,6 v	D 5,1	
28	A $2{,}7^h$	D $6{,}2^h$	A 1,7	D 5,6	A 11,3 n	D 5,8	A 1,5 v	D 5,6	A = Aufgang
XI 17	A $2{,}9^h$	D $6{,}7^h$	A 1,5	D 6,2	A 10,1 n	D 6,3	A 0,3 v	D 6,2	U = Untergang
XII 7	A $3{,}5^h$	D 7.2^h	A 1,2	D 6,6	A 8,8 n	D 6.8	A 11,1 n	D 6,6	D = Dämmerung

M. Koppe.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXII. Jahrgang. **Sechstes Heft.** November 1919.

Versuche mit der Lumineszenzlampe.

Von **Dr. Felix Jentzsch-Graefe**, Privatdozent an der Universität Gießen.

Die Demonstration der Lumineszenz-Erscheinungen, von denen ja hauptsächlich Fluoreszenz und Phosphoreszenz in Betracht kommen, bereitet bisher im Unterricht immer noch ziemliche Schwierigkeiten, falls man sich nicht gerade auf die allereinfachsten Versuche beschränken will. Vor allen Dingen pflegt dabei der Umstand zu stören, daß die Farbe des erregten Lichtes gleichzeitig auch noch von der erregenden Lichtquelle selbst ausgesandt wird, so daß eine Art Blendung eintritt, die die Untersuchung wesentlich erschwert und sie bei schwachen Lumineszenzen nahezu unmöglich macht. Grundprinzip für alle brauchbaren Fluoreszenz- sowie die meisten Phosphoreszenz-Beobachtungen ist es also, diesen Fall auszuschließen, d. h. eine Dunkelfeldbeleuchtung großen Maßstabs herzustellen. Das kann man in der Weise tun, daß man eine Lichtquelle verwendet, die nurunsichtbares ultraviolettes Licht aussendet, so daß das erregte Licht der Fluoreszenz das einzig sichtbare Licht im Versuchsraum bleibt. Die strenge Durchführung dieses Prinzips liefert außerordentlich glänzende und eindrucksvolle Erscheinungen.

Versuche, eine derartige Lichtquelle herzustellen, laufen immer darauf hinaus, eine ultraviolette Lichtquelle durch ein Filter hindurch wirken zu lassen, das einen möglichst großen Teil des sichtbaren Spektrums absorbiert. Der erste, der einigermaßen Erfolg mit solchen Bemühungen hatte, war der Amerikaner R. W. Wood[1]), 1903, dem es gelang, in dem Nitrosodimethyl-Anilin einen Stoff zu finden, der für Ultraviolett vollständig durchlässig ist, aber starke Absorptionsbande in Grün und Blau aufweist. So ist z. B. eine Lösung dieser Substanz in Glyzerin oder fester Gelatinelösung für das Intervall von 400—280 $\mu\mu$ vollständig durchlässig. Man hat später noch andere Farbstoffe mit ähnlichen Eigenschaften gefunden, so gab Goldhammer[2]) ein ähnliches Strahlenfilter mit Hofmannsviolett an. Doch sind die Filter mit Nitrosodimethyl-Anilin bisher die wirkungsvollsten geblieben. Während die Woodschen Filter[3]), die noch außerdem Kobalt-Glas und, zur Fernhaltung des äußersten Rot, sog. „Signalgrün-Glas" enthielten, verschiedene Fehler aufwiesen, stellte 1904 Kalähne[4]) ein recht brauchbares Ultraviolett-Filter her, indem er ein Stückchen Blauviolett-Glas mit in Nitrosodimethyl-Anilin getränkter Gelatine überzog und die Absorption im Grünen durch Fluoreszeïn-Natrium (sog. Uranin) verbesserte. Immerhin waren mit diesem Filter noch störende rote und grüne Strahlen bemerkbar. Erst als es dem Glaswerk Schott & Gen. 1905 gelang[5]), das Blau-Uviol-Glas zu er-

---

[1]) R. W. Wood, Über nur für ultraviolettes Licht durchlässige Schirme und deren Verwendung in der Spektral-Photographie. Physik. Zeitschr. **4.** S. 334—338. 1903.

[2]) D. A. Goldhammer, Über ein Strahlenfilter für das ultraviolette Licht. Physik. Zeitschr. **4.** S. 413—415. 1903.

[3]) Woodsche Absorptionsplatten, die anscheinend weit verbreitet sind, lieferte früher z. B. E. Leybolds Nachf. in Köln.

[4]) A. Kalähne, Über das Woodsche Lichtfilter für ultraviolette Strahlen. Physik. Zeitschr. **5.** S. 415—416. 1904.

[5]) Von einem Filterglas für kurzwellige Strahlen, das E. Zschimmer bereits 1903 erschmolzen hat, habe ich nicht wieder gehört. Ber. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. **5**, S. 312, 1903.

schmelzen, konnte das Woodsche Filter weiter verbessert werden, was dann durch H. Lehmann[1]) im Zeißwerk mit größtem Erfolg geschehen ist. Die mit dem neuen Blau-Uviol-Glas hergestellten Ultraviolett-Filter lassen in der Tat nur noch eine ganz geringe Spur des äußersten Rot hindurch und auch diese kann noch durch Zwischenschaltung einer dünnen Schicht einer Metallsalzlösung beseitigt werden; als die geeignetste erwies sich Kupfersulfat.

Nach meinen Angaben wird nun seit Januar 1912 von der Firma Ernst Leitz in Wetzlar eine besondere Lumineszenzlampe[2]) hergestellt, auf die ich die Aufmerksamkeit lenken möchte, da sie sich durch ihre Einfachheit und Handlichkeit vor anderen im Prinzip gleichen Konstruktionen auszeichnet und sich besonders für Demonstrationszwecke als recht brauchbar erwiesen hat.

Eine der bekannten Liliputbogenlampen mit rechtwinkelig zueinander stehenden Kohlen wurde mit einem vollständig lichtdichten Gehäuse versehen und ein besonderes Filterrohr in der Weise davor befestigt, wie es Fig. 1 zeigt. Man kann mit dieser Lampe, obwohl sie nur 4—5 Ampere beansprucht, und infolgedessen an jede Hausleitung angeschlossen werden kann, so kräftige Wirkungen erzielen, daß die Fluoreszenz eines davor gehaltenen Stückchens Uranglas einen großen Hörsaal erleuchtet, während ohne Uranglas trotz brennender Lampe der Raum vollständig dunkel bleibt. Diese Liliputbogenlampe wird mit den seit 1902 bekannten Dochtkohlen von Gebrüder Siemens beschickt, die in besonderer Weise präpariert sind. Bekanntlich waren die sog. Effektbogenlampen mit in der Masse imprägnierten Kohlen durch ihre starke Dampfentwicklung und Schlackenbildung recht unpraktisch. Demgegenüber haben die Dochtkohlen den Vorteil, daß die Zusätze nur im Docht enthalten sind, wodurch Schlackenränder vermieden werden und verhältnismäßig ruhiges Brennen erzielt wird. Die Eisenkohlen von Siemens liefern entsprechend dem Emissionsspektrum des Eisens, das intensive Linien bei 404, 382, 372, 358, 344, 310, 305 $\mu\mu$ aufweist, — einen an ultravioletten Strahlen besonders reichen und an ultraroten verhältnismäßig armen Lichtbogen. Die neuerdings von der Firma Gebr. Siemens in Charlottenburg empfohlenen Nickelkohlen sollen noch ruhiger brennen als die Eisenkohlen. Ihre spektrale Ergiebigkeit dürfte die gleiche sein. Vor dem Arbeiten hebt man am besten den ganzen vorderen Teil des Gehäuses mit Rohr und Filter ab, und läßt die Lampe einige Minuten unverdeckt brennen, bis der Bogen sich etwas beruhigt hat. Zunächst pflegen nämlich aus dem Lichtbogen kleine glühende Teilchen auszuspringen, die unter Umständen

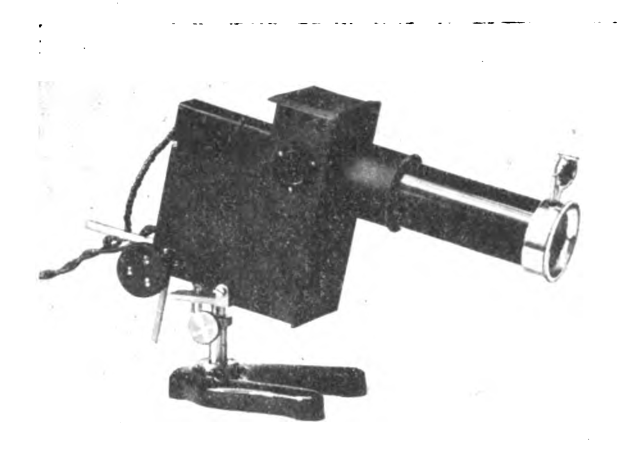


Fig. 1.

[1]) H. Lehmann, Über ein Filter für ultraviolette Strahlen und seine Anwendung. Physik. Zeitschr. 11. S. 1039–1047. 1910. Die Firma Dr. Steeg & Reuter in Homburg v. d. H. teilte mir mit, daß sie ein gleiches Filter mit Blau-Uviol-Glas bereits 1905 hergestellt hat.

[2]) Die Einrichtung wurde im Januar 1912 zuerst im Gießen-Marburger Kolloquium demonstriert und auf der Naturforscher-Versammlung zu Münster im Herbst desselben Jahres von der Firma Leitz ausgestellt. Kurz beschrieben bei Felix Jentzsch, Über die Lumineszenzlampe und das Lumineszenzmikroskop. Eders Jahrbuch für Photographie und Reproduktionstechnik Bd. 28. S. 86—88. 1914.

die Linse treffen, sich hier einbrennen und auf die Dauer eine beträchtliche Trübung herbeiführen können.

Als Lichtquelle dient also vornehmlich der Lichtbogen und nicht wie sonst, der Krater. Sein Licht wird durch eine möglichst dünne Kondensorlinse aus U.V.-Kron annähernd parallel gemacht, wobei Absorptionsverluste kaum eintreten können, da 3 mm U.V.-Kron, abgesehen von Reflexionsverlusten, die Wellenlänge $\lambda = 400\ \mu\mu$ nur auf 0,99; $\lambda = 350\ \mu\mu$ auf 0,98 und $\lambda = 300\ \mu\mu$ auf 0,95 schwächen. In den parallelen Strahlengang wird das Ultraviolett-Filter gesetzt, dessen wirksamer Teil natürlich größer als die Linse sein muß und dessen unwirksamer Rand durch eine Blende abgedeckt ist.

Das Filter bestand bei meinen Versuchen zuerst aus einer Flüssigkeitsküvette mit Wänden aus Blau-Uviolglas, in die durch kleine Trichterröhrchen eine etwa 20%-ige wässerige $CuSO_4$-Lösung eingeschüttet wurde, die auf diese Weise zugleich als Kühlflüssigkeit diente. Das Nitrosodimethyl-Anilin wurde anfangs, wie es Kalähne zuerst getan, in gelatinöser Lösung verwendet, wobei es nach dem Vorgang von Lehmann auf eine Außenseite des Filters gegossen war und die Gelatineschicht durch eine weitere (dritte) Blau-Uviol-Platte geschützt wurde. Das erwies sich aber bald nach zwei Richtungen hin als unzweckmäßig. Es zeigte sich nämlich die Erwärmung immerhin beträchtlich genug, um nach einigen Stunden Betriebsdauer die Gelatineschicht zu zerstören. Es ist daher vorteilhafter, den Farbstoff in wässeriger Lösung zu verwenden und also noch eine zweite Flüssigkeits-Küvette an die erste anzusetzen, die mit ihr die Zwischenwand gemein hat. Auch Lehmann hat schon diese Filterarten ausgeführt. Bei den Dimensionen der Filter ist eine Konzentration des Farbstoffs von ca. 1 : 7500 bis 1 : 10000 ausreichend. Die Verwendung wässeriger Lösung ist ferner noch insofern einem Gelatinefilter überlegen, weil die starke Diffusion wegfällt, die in letzterem das direkt durchgehende Licht zugunsten des seitlich zerstreuten schwächt.

Eine weitere Besonderheit ergibt sich ferner aus folgender Überlegung: Das Blau-Uviolglas und ebenso das Kupfersulfat absorbieren im Ultrarot sehr stark, so daß eine ziemlich starke Erwärmung der Filter eintritt, obwohl die Wärme-Emission einer Bogenlampe mit Eisendochtkohlen erheblich geringer ist, als die einer solchen mit Homogenkohlen, da der Krater mit seiner reinen Temperaturstrahlung wegen der guten Wärmeleitung des Eisens nicht so heiß wie sonst wird und auch Eisen keine besonders intensiven Linien im Rot oder Ultrarot aufweist. Die auftretende Erwärmung könnte jedoch die Kittschichten der Filterwände angreifen und auflösen. Von O. Heimstädt ist deshalb vorgeschlagen worden (D.R.P. 262432), die Filterwände aus einem Material wie Quarz, U.V.-Glas usw. anzufertigen und die Blauuviolkomponente getrennt als einzelne Scheibe zu verwenden. Ja, er empfiehlt, die Kondensorlinse selbst aus Blauuviol-Glas anzufertigen.

Ferner wird durch die hohe Temperatur die Azidität der $CuSO_4$-Lösung so gesteigert, daß sie die Politur der Blauuviol-Glaswände angreift. Da Quarz und U.V.-Glas sich in dieser Beziehung als widerstandsfähiger erwiesen, wird die Filterküvette besser in der Weise angefertigt, daß die beiden Wände des $CuSO_4$-Filters nicht aus Blauuviol-Glas hergestellt werden, sondern nur die dritte Wand der Doppelküvette, die allein an die Lösung von Nitrosodimethyl-Anilin grenzt. Diese Wand muß dann natürlich erheblich dicker als die beiden anderen sein. Auf alle Fälle müssen aber nach Gebrauch beide Küvetten geleert und besonders die für $CuSO_4$ bestimmte muß auch noch sorgfältig mit reinem Wasser nachgespült werden.

Für die Konstruktion des Lampengehäuses kamen die einander ziemlich widersprechenden Forderungen in Betracht, daß das Gehäuse vollständig lichtdicht schließen und gleichzeitig gut gekühlt werden sollte. Nach einigen Versuchen entstand das in Fig. 1 abgebildete Gehäuse, das durch Metallblenden und Asbestführungen für die Kohlen einen vollständigen Lichtabschluß erzielt. Auch die Einblickfenster

aus Glimmer sind verschließbar. In dem abnehmbaren vorderen Rohr sitzt die Kondensorlinse aus U.V.-Kron lose zwischen drei Stäbchen gefaßt, so daß Luft um sie herum streichen kann. Am Ende des Rohres wird das Filter in einer Aluminiumfassung eingeschoben. Zwischen Linse und Filter befindet sich, gut verdeckt, auf der Unterseite des Rohres, die Eintrittsöffnung für den kühlenden Luftstrom, der um die Linse herum, durch den Lichtbogen hindurch nach oben in den kleinen Schornstein führt. Durch diese Regelung wird verhindert, daß Metalldämpfe des Bogens die Linse beschlagen können. Die Austrittsöffnung des Luftstroms ist zur Erzielung einer kräftigen Schornsteinwirkung wesentlich größer als die Eintrittsöffnung. Das Filter kann aus seiner Fassung leicht herausgenommen und gereinigt werden. Die sehr großen Eingußöffnungen werden noch durch eine Schieberblende verdeckt.

Die ganze Beleuchtungslampe ist, wie die Figur zeigt, in der Höhe und nach der Seite verstellbar. Auch kann sie bis zu 45^0 geneigt werden, so daß man auf dem Tisch liegende Gegenstände direkt von oben her beleuchten kann. Man wird diese Stellung meist dann anwenden, wenn es sich um die Demonstration der Fluoreszenz an größeren Objekten, etwa Mineralien, ganzen Knochen, menschlicher Haut, Papier usw. handelt. Auch kann man noch eine einzelne U.V.-Linse, die zu der ganzen Anordnung gehört, davor setzen und damit die bestrahlte Fläche vergrößern. Sollen umgekehrt ganz kleine Gegenstände betrachtet werden, so hält man sie in den Brennpunkt der Linse.

Es ist aber leicht möglich, mit derselben Lampe die Strahlen auf einen so kleinen Fleck zu konzentrieren, daß man die Fluoreszenz mikroskopischer Präparate beobachten kann. Man muß dabei ebenfalls vermeiden, daß die erregenden und erregten Strahlen zugleich in das Auge, bzw. das Beobachtungsobjekt fallen. Die Mikroobjektive pflegen meist gekittete Linsen zu enthalten und der als Kitt dienende Kanadabalsam fluoresziert selbst unter dem Einfluß der das Filter verlassenden Strahlen, ja einzelne Flintglaslinsen würden als Ganzes anfangen zu leuchten. Man muß also den Strahlengang der sog. Dunkelfeldbeleuchtung anwenden, d. h. die beleuchtenden Strahlenbündel dürfen sich nicht mit den abbildenden durchdringen. Andernfalls würde ein lichter Schleier das ganze Bild überdecken, der jedes Detail unkenntlich machen würde. Derartige Anordnungen für Fluoreszenzversuche sind sowohl von K. Reichert[1]) wie von H. Lehmann[2]) beschrieben worden.

Ich habe dasselbe Resultat auf wesentlich einfacherem Wege dadurch erreicht, daß ich auch beim Mikroskopieren nicht im durchfallenden, sondern im auffallenden Licht arbeite. Zu diesem Zweck wird die Lumineszenzlampe so gestellt, daß ein horizontales Bündel aus ihr austritt und etwa 2 cm über dem Objekttisch des Mikroskops hinwegstreicht. Dabei trifft es einen außen versilberten Hohlspiegel, der in eines der für die Objektklammern bestimmten Löcher in der Weise aufgesetzt ist, wie es die Fig. 2 zeigt. Der Spiegel sammelt die ultravioletten Strahlen in einen intensiven Fleck auf der optischen Achse des Mikroskopes. Indem man ein beliebiges Stück Papier, das immer etwas lichtgrün fluoresziert, vor den Silberspiegel hinhält, kann man die Einstellung der Lampe leicht kontrollieren. Man muß nur darauf achten, daß die Strahlen, bevor sie auf den Silberspiegel fallen, nicht das Objektiv des Mikroskopes treffen oder streifen. Am leichtesten erreicht man diesen Strahlengang, wenn der Krater genau in der gleichen Höhe steht, wie die Achse des Silber-

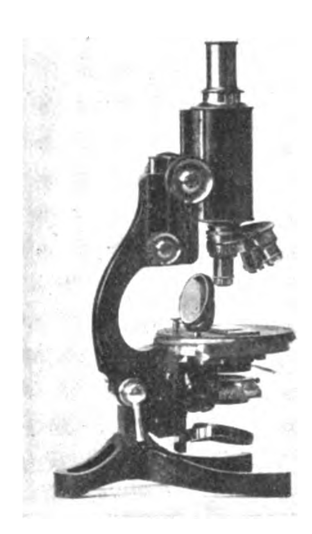
---

[1]) K. Reichert, Das Fluoreszenzmikroskop. Physik. Zeitschr. 12. S. 1010–1011. 1911. — Er verwendet einen sehr teueren Quarzkondensor mit Zentralblende.

[2]) H. Lehmann, Lumineszenzanalyse mittelst der Ultraviolett-Filterlampe. Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 13. S. 1101—1104. 1911. Physik. Zeitschr. 13. S. 35–36. 1912. Ferner: Apparate für die Lumineszenzlampe. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 32. S. 43. 1912. — Er legt auf das Präparat ein Deckgläschen aus Euphos-Glas, das im Ultravioletten stark absorbiert, im Sichtbaren aber gut durchlässig ist. Fa. Zeiß hat auch vorgeschlagen (D.R.G.M. 500907), die Frontlinse des Beobachtungsobjektivs selbst aus Euphos-Glas anzufertigen.



spiegels. Würde der Hohlspiegel ein gewöhnlicher Glasspiegel sein, so wäre die Absorption im Glase störend, während die bekannte Durchlässigkeit von Silber für Ultraviolett, die bisweilen sogar zur Herstellung von Strahlenfiltern benutzt worden ist, erst bei ungefähr 280 $\mu\mu$ anfängt, so daß in den hier in Betracht kommenden



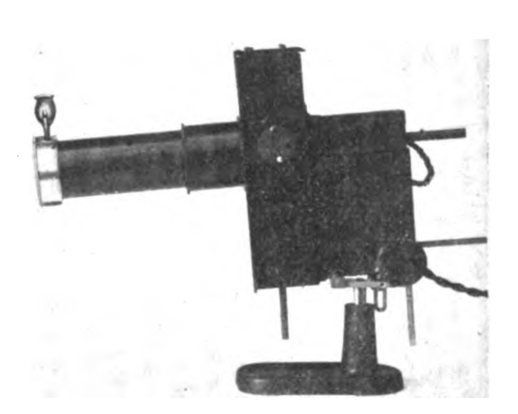


Fig. 2.

Bereichen das Silber noch nahezu das gleiche hohe Reflexionsvermögen besitzt, wie im sichtbaren Strahlengebiet. Selbstverständlich dürfen die Präparate nicht etwa mit Kanadabalsam auf einem Objektträger festgekittet sein, da der Balsam selbst fluoresziert. Man kann jeden beliebigen Objektträger, der nicht selbst fluoresziert, verwenden. Doch wird ohne Deckglas gearbeitet. Es empfiehlt sich, nur mittlere Objektive zu verwenden, doch kann man immerhin bis zu beträchtlichen Vergrößerungen übergehen, wenn es sich um kräftig leuchtende Stoffe handelt. Sollen dagegen sehr lichtschwache Gegenstände untersucht werden, so ist eine sehr starke Vergrößerung nicht gut anwendbar. Um die Helligkeit möglichst auszunutzen, ist es dann stets vorteilhaft, möglichst schwache Okulare zu verwenden und die Vergrößerung durch die Objektive allein zu erreichen.

Von den Anwendungen des Instrumentes sei hier besonders der im physikalischen und chemischen Unterricht in Frage kommenden gedacht. Zunächst wird man mit der Lumineszenzlampe die Fluoreszenz einer Reihe von Gläsern und Flüssigkeiten zeigen, also vor allem Uranglas mit hellgrünlicher Fluoreszenz. Lehrreich ist ferner das diskontinuierliche Fluoreszenzspektrum von Didym-Gas. Von geeigneten Flüssigkeiten[1]) sind in den Lehrmittelsammlungen meist vorhanden Lösungen von Fluorescein (grün), Eosin (grünlichgelb), Magdalarot (orangerot), Uranin (hellgrün), Rhodantine (orangefarben), Chininsulfat (hellblau). Ferner eignen sich Schmieröl und Petroleum. Letzteres erscheint tiefblau, was besonders bei einem fließenden Strahl sehr wirkungsvoll ist. Sehr reines Petroleum fluoresziert weniger hell. Für die Bereitung einer brauchbaren Lösung von Aesculin, dessen blaue Fluoreszenz Goethe in seiner Farbenlehre zuerst beschreibt, empfiehlt es sich, um die Lösung haltbar zu machen, etwas Eisenvitriol zuzusetzen und mit Ammoniak niederzuschlagen. Rote Fluoreszenz erhält man mit Chlorophyll-Lösung, indem z. B. Spinat, Brennesseln usw. mit Äther oder einem Gemisch von Äther und Alkohol ausgezogen

[1]) Über die geeigneten Verdünnungen und einige andere Rezepte lese man in den Lehrbüchern nach. Eine sehr gute Zusammenstellung gibt Hermann Hahn, Physikalische Freihandversuche, III. Teil (1912), S. 298—313. Vergl. auch Frick, Physikalische Technik, Bd. II.

werden. Auch viele andere organische Lösungen zeigen mehr oder minder schöne Fluoreszenz [1]).

Selbstverständlich sind auch alle phosphoreszierenden Stoffe fluoreszierend, wie man denn überhaupt keine strenge Scheidung zwischen beiden Erscheinungen durchführen kann und die Fluoreszenz als schnell abklingende Phosphoreszenz auffassen muß. Deshalb ist auch die hier besprochene Vorrichtung als Lumineszenzlampe bezeichnet. Von den oben erwähnten fluoreszierenden Flüssigkeiten lassen sich z. B. Eosin und Fluoreszeïn durch Zusatz von Gelatine in phosphoreszierende überführen. Ähnliches wird ja bekanntlich auch durch Temperatureinflüsse bewirkt. Den zeitlichen Verlauf der Fluoreszenz, d. h. die Phosphoreszenz kann man mit irgend einem rotierenden Phosphoroskop dann bequem studieren.

Die für Versuche mit Röntgenstrahlen wohl in jeder Sammlung vorhandenen Leuchtschirme strahlen auch unter dem Einfluß des ultravioletten Lichtes. Man kann sie recht gut benutzen, um die Ultraviolett-Durchlässigkeit verschiedener Stoffe zu prüfen. Glasplatten aus Uviolglas werfen keine merklichen Schatten, Krongläser einen recht schwachen, während die schweren Flintgläser mehr oder minder dunkle Schatten auf dem Leuchtschirm hinterlassen, da ihre Absorption im allgemeinen bei 350 $\mu\mu$ schon recht stark ist. Umgekehrt wirft das im Tageslicht tiefdunkle Blauuviol-Glas gar keine Schatten. Daß ein fluoreszierender Körper sein eigenes Fluoreszenzlicht absorbiert, zeigt der tiefe Schatten, den Uranglas bei dieser Anordnung wirft, eine selbstverständliche Folge des Energieprinzips.

Recht instruktiv gestaltet sich ferner die Untersuchung von Farbgläsern in Verbindung etwa mit Uranglas. Die Absorption einer Gesamtanordnung ist nämlich, scheinbar entgegen dem allgemeinen Reziprozitätsgesetz, nicht immer unabhängig von der Reihenfolge der Teile, falls eine der Komponenten fluoresziert. Fällt z. B. das Licht der Lumineszenzlampe zuerst auf das Uranglas, dann auf ein gewöhnliches Blaufilter, so leuchtet das Uranglas grün und das Blaufilter erscheint deutlich als grünes Glas, da es ja auch grüne Strahlen ziemlich stark durchläßt und andere nicht vorhanden sind. Bei der umgekehrten Reihenfolge dagegen erscheint das Blaufilter vollständig schwarz, der Uranglaswürfel ebenfalls, da er von den allein durchgelassenen blauen und grünen Strahlen nicht mehr zur Fluoreszenz erregt wird. Mit geeignet gewählten Gelatinefiltern kann man dieselbe Abhängigkeit der Absorption von der Reihenfolge auch im Tageslicht zeigen.

Bei Untersuchung des Polarisationszustandes des Fluoreszenzlichtes findet man zunächst die aus den Lehrbüchern bekannte Tatsache bestätigt, daß Fluoreszenzlicht unpolarisiert ist. Als ich jedoch ein Uranglas von allen Seiten abblendete und den Strahlengang so einrichtete, daß in das Auge, bzw. den Analysator Strahlen drangen, die unter beträchtlichen Winkeln von der Oberfläche des Glases ausgingen, war deutlich eine gewisse, bei nahezu streifender Emission recht beträchtliche Polarisation zu bemerken. Sie erklärt sich ungezwungen dadurch, daß ein aus dem Innern des Uranglases kommender Strahl an der Oberfläche z. T. reflektiert und dabei partiell polarisiert wird. Die weitere Theorie habe ich an anderer Stelle [2]) veröffentlicht.

Der wirksame Bereich des ultravioletten Strahlenkegels erstreckt sich überraschend weit. Die Absorption in der Luft ist für den in Betracht kommenden Strahlenbereich wohl nicht besonders groß, denn man kann bequem durch einen etwa 10 m langen Hörsaal hindurch die gegenüberliegende Wand ableuchten und zeigen, wie dort hängende Papierbilder im allgemeinen fluoreszieren, während etwa eine Schalttafel aus Marmor dies nicht tut, sondern vollkommen schwarz aussieht. Die Papier-

---

[1]) Eine Sammlung geeigneter Demonstrationsobjekte liefert z. B. die Firma Fritz Köhler in Leipzig, Windscheidstr. 33.

[2]) Felix Jentzsch, Studien über Emission und diffuse Reflexion. Gießener Habilitationsschrift. J. A. Barth. 1912. § 6. Emission polarisierten Lichtes. S. 25—28. Vgl. auch Ann. d. Phys. **39**, S. 1014, 1912.

skalen von etwa auf der Schalttafel befindlichen Meßinstrumenten leuchten grünlichgelb auf. Nahezu alle Papiersorten fluoreszieren grünlich. Übrigens pflegt Marmor, wenn er glänzend poliert ist, auch eine geringe Spur von Fluoreszenz zu zeigen, die wohl auf Rückstände des Poliermittels zurückzuführen ist.

Von weiteren Objekten, die man leicht zur Hand hat, nenne ich vor allem die eigenen Hände, die weißlich-blau fluoreszieren, auf der Innenseite meist heller als auf der pigmentreicheren Oberseite. Ferner die Fingernägel und die sehr hellstrahlenden Zähne. Wer nicht die Gefahr scheut, die übrigens wohl erst nach langdauernder Einwirkung wirklich vorhanden ist, mag auch die sehr starke Fluoreszenz des Augapfels zeigen. Paraffin leuchtet blau, das niedrig schmelzende etwas heller und weißlicher als die bei höherer Temperatur schmelzenden Sorten. Zigarrenasche enthält blaue und rote Teilchen. Ferner sind geeignet Knochen und Bein aller Art, die an Gebrauchsgegenständen, wie Federhalter, Taschenmesser usw. oft zu finden sind. Geeignet sind auch alle Kitte und Harze, z. B. auch Bernstein. Von Streichhölzern leuchten manche imprägnierte Sorten tief dunkelrot mit dunkelgelber Kuppe in sehr strahlendem Licht.

Dann wird man dazu übergehen die Lumineszenzerscheinungen von Mineralien zu demonstrieren. Leuchtet man mit einer Lumineszenzlampe die Schränke einer mineralogischen Sammlung ab, so blitzen im sonst tiefdunklen Raum allenthalben Kristalle und Steine auf, in allen Farben des Spektrums. Auch einzelne Adern auf großen Blöcken sieht man bisweilen aufleuchten, die im Tageslicht nichts von ihrer Existenz verraten. Für mancherlei Fragen der Petrographie und Mineralogie könnte man mit der Luminiszenzmethode vielleicht eine Lösung finden. Man muß bei der Beurteilung dieser Erscheinungen beachten, daß die Fluoreszenz eines Kristalls nicht allein durch die ihn aufbauende Substanz bedingt wird, sondern daß sie oft in der Hauptsache eine Folge von geringen Verunreinigungen, d. h. Beimengungen von der Kristallsubstanz fremden Stoffen ist. Da diese Beimengungen von Vorkommen zu Vorkommen nach Art und Stärke variieren, so bietet die Bestrahlung von Mineralien mittelst der Lumineszenzlampe nicht nur ein Hilfsmittel zur Unterscheidung der Mineralien selbst, sondern man kann durch Vergleich in vielen Fällen treffend auf die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Vorkommen schließen. Trotz zahlreicher Untersuchungen, die allerdings meist nur orientierenden Charakter tragen, sind diese ganzen Verhältnisse noch wenig erforscht. Obwohl die Erscheinung der Fluoreszenz vom Flußspat (Kalziumfluorit) ihren Namen hat, ist sie bei diesem Mineral im Vergleich zu den später genannten sehr unansehnlich. Die schwach blaue oder schwach gelbe Eigenstrahlung der Flußspate rührt von Beimengungen seltener Erden her. Kalkspat, vielfach Spuren organischer Substanzen enthaltend, fluoresziert meist gelblich oder blau-weiß, die manganhaltigen, wasserklaren Kristalle von Island dagegen schwach dunkelrot. Prächtige Erscheinungen liefern die Edelsteine. Diamanten fluoreszieren in allen Farben, z. B. blau, grün, rosarot. Opale gelbweiß bis blauweiß, Saphir gelb, Smaragd grünlich, Spinell rot, Topas grün und gelb. Bemerkenswert ist erner das starke rote Eigenlicht des Rubins. Künstlicher Rubin[1]) verhält sich übrigens genau ebenso wie echter. Beide zeigen hauptsächlich eine Doppellinie bei 696 und 694 $\mu\mu$. Viele Sodalithe zeigen hellrote Fluoreszenz. Schon im Handstück sodalithführender Gesteine verrät sich bei der Bestrahlung dieses Mineral durch sein lebhaftes Eigenlicht. In den vulkanischen Auswürflingen des Monte Somma kann es auf diese Weise leicht von den hellblau fluoreszierenden Zeolithen und der nicht fluoreszierenden Grundmasse unterschieden werden. Besonders prächtig sind die Erscheinungen der Fluoreszenz bei den Mineralien der von Th. Liebisch[2]) hieraufhin eingehend untersuchten Willemit-Gruppe ausgeprägt.

[1]) A. Miethe, Über das Spektrum des Rubins. Verh. d. D. Phys. Ges. 9, S. 715—717, 1907

[2]) Th. Liebisch, Über die Fluoreszenz der Sodalith- und Willemitgruppe im ultravioletten Licht. Berl. Ber. 1912.

Bei allen optisch anisotropen Kristallen ist die auftretende Fluoreszenz mehr oder weniger stark polarisiert, was man durch Zerlegung des Fluoreszenzlichtes mittelst eines Dichroskops feststellen kann. Das Fluoreszenzlicht wird dann auch durch ultraviolette Strahlen von bestimmter Schwingungsrichtung am stärksten erregt. Diese Schwingungen liegen bei einachsigen Mineralien parallel oder senkrecht zur optischen Achse, bei zweiachsigen Mineralien zumeist in der Ebene der optischen Achsen oder senkrecht dazu. Gelegentlich wie beim Beryll und Smaragd tritt auch deutliche pleochroitische Fluoreszenz auf: Außer der Intensität ändert sich also auch die Farbe des Fluoreszenzlichtes mit der Schwingungsrichtung im Kristall.

Wir sahen, daß schon geringe Spuren gewisser Beimengungen die Fluoreszenz in Farbe und Intensität verändern und sogar bestimmen können. Es liegt also nahe, diese Beobachtung für chemische Untersuchungen zu verwenden, wenn es sich darum handelt, die Reinheit oder Unreinheit einer Substanz festzustellen. Zu diesem Zwecke hat man nur nötig, die Chemikalien in einem möglichst dünnen Gefäß, am besten aus Quarzglas oder U.V.-Glas in den Strahlengang zu halten und sie je nach den Umständen mit freiem Auge oder einer Lupe, oder auch in der oben beschriebenen Weise unter dem Mikroskop zu untersuchen, ob in der Masse einzelne dunkler oder heller leuchtende Partikelchen vorhanden sind. In der Regel wird man nämlich die Beobachtung machen, daß absolut reine Chemikalien fast gar nicht oder nur selten fluoreszieren. Bei den Chemikalien zweiter Qualität zeigen sich aber meist eine große Anzahl von leuchtenden Partikelchen, die auf Verunreinigungen zurückzuführen sind. So zeigt z. B. nach H. Lehmann[1]) Sublimat bisweilen sehr hell gelbrot leuchtende Punkte[2]) und größere Konglomerate, dicht neben tiefschwarzen Stücken, ferner enthält Borsäure hellrote und blaue Teilchen, Kaliumsulfid intensiv dunkelrote, Kalziumsulfid rote und grüne, Bleinitrat zeigt an den verwitterten Stellen der Kristalle orangerote Fluoreszenz usw. Einige organische Verbindungen, die in ganzer Masse leuchten, habe ich schon oben genannt. Hier sei noch auf die Uranylverbindungen und die von Soret untersuchten Salze seltener Erden wie Erbium, Didym, Lanthan u. a. hingewiesen. Eine Anwendung auf Pottasche beschreibt Ottomar Wolff[3]), dem es gelang, die ultraviolette Bestrahlung als eine Art „Lumineszenzanalyse“ auszubilden zur schnellen und exakten Prüfung der Pottasche auf Schwefelkalium, das die wesentlichste und unangenehmste Verunreinigung der käuflichen Pottasche darstellt.

Über die Fluoreszenz von organischen Geweben im ultravioletten Licht ist bis jetzt noch wenig bekannt. Eine eingehende Untersuchung liegt von Hans Stübel[4]) vor. Danach ist die überaus auffallende Fluoreszenz der menschlichen Haut in ihrer verschiedenen Stärke durch den wechselnden Pigmentgehalt bedingt. Lokale Pigmentanhäufungen (bzw. Pigmentverarmungsstellen) auf einer größeren Fläche heben sich sehr deutlich ab. So fand Stübel Fluoreszenz z. B. bei den Augen aller Wirbeltiere, den Vogelfedern, der Schildkrötenschale, in der Haut und den Blutgefäßwandungen der Amphibien, Schuppen der Fische, Panzer der Krebse, Haut des Regenwurms usw. Als wichtiges Resultat seiner Unternehmungen ist noch zu betonen, daß Hämoglobin und seine sämtlichen Derivate nicht fluoreszieren. Für künftige Untersuchungen ist bedeutungsvoll, daß man bisweilen einzelne Organe deutlicher im Fluoreszenzlicht unterscheidet als bei gewöhnlicher Beleuchtung. Als besonders schönes Beispiel dafür führt Stübel den Regenwurm an; während die mehr oder weniger stark pigmentierte Haut sehr schwach fluoresziert und an ihren dunklen Partien überhaupt kaum, heben

[1]) H. Lehmann, l. c. S. 15.

[2]) Diese Teilchen stellten sich später als Kalomel heraus.

[3]) Ottomar Wolff, Die Ultraviolett-Filterlampe als wichtiges Hilfsmittel zur Bestimmung der Reinheit chem. Produkte. „Chemiker-Zeitung“ 1912, Nr. 22, S. 179.

[4]) Hans Stübel, Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultravioletten Licht. Pflügers Archiv für Physiologie, **142**, 1911.

sich die bei gewöhnlichem Licht mit bloßem Auge nur schwer erkennbaren Chitinborsten deutlich als mattgrün leuchtende Punkte von ihrem dunklen Hintergrunde ab. Es erscheint demnach nicht als ausgeschlossen, daß auch in der Biologie die Beobachtung der Fluoreszenz in gewissen Fällen als Untersuchungsmethode verwertet werden kann.

Als wesentlich ist ferner zu bezeichnen, daß ein Gewebe um so stärker fluoresziert, je wasserfreier und fester es ist, also je weniger mit Flüssigkeit gefüllte Hohlräume es einschließt. Ein vertrocknetes Gewebe leuchtet stärker als ein frisches. Faszien und Sehnen leuchten heller als Muskeln. Noch heller leuchtet der Knochen. Besonders deutlich sieht man dies am Unterschied der Fluoreszenz der Haut gegenüber den Nägeln und der äußerst starken Fluoreszenz der Zähne. Als Demonstrationsversuch sehr geeignet ist die Fluoreszenz des Hühnereis. Bringt man ein hartgesottenes, mitten durchgeschnittenes Hühnerei in den ultravioletten Strahlengang, so leuchtet die äußere Schale rötlich-weiß, die Eihaut bläulich-weiß, das Eiweiß zitronengelb und der Dotter dunkelgelb. Milch, Butter, Fett leuchten gelb wie das gekochte Eiweiß.

Eine zur Zeit noch gar nicht abzusehende Bedeutung hat vielleicht eine Beobachtung von Dr. Hans L. Heusner in Gießen, wonach erkrankte Gewebe eine von der Norm abweichende Fluoreszenz aufweisen. Es lassen sich in der Tat beginnende Erkrankungen der Haut durch solche abweichende Fluoreszenz schon frühzeitig erkennen, zu einer Zeit, da sich Unterschiede bei gewöhnlichem Licht noch nicht oder kaum nachweisen lassen.

Vorstehende Zusammenstellung lag bereits vor Ausbruch des Krieges im Frühjahr 1914 druckfertig vor.

Das Ruder als Hebel.

Von R. Weller an der Oberrealschule in Cannstatt.

Im 1. Heft dieses Jahrgangs S. 17 hat Herr Dr. Cassebaum einen Aufsatz über das Ruder als Hebel veröffentlicht. Er bemerkt, daß in den Lehrbüchern ein „Eingehen auf die besonderen hier vorliegenden Verhältnisse“ sich nur vereinzelt finde. Ich halte ein näheres Eingehen auf derartige Beispiele allerdings nicht für die Aufgabe eines Lehrbuchs, das dem Schüler als Stütze dienen soll, sondern für die Aufgabe des Lehrers, der die Merk- und Schlagwörter des Lehrbuchs mit Leben erfüllen soll.

Herr Dr. Cassebaum zeigt, wie das geschehen kann. Doch scheint mir seine Darstellung nicht vollständig. Er überträgt die Druckkraft der Füße, die in der Mitte des Bootes wirkt, auf das Ruder in den Dollen, verschiebt also eine Kraft parallel, ohne gerade an diesem geschickt gewählten Beispiel den Umstand auszunützen, daß bei der Parallelverschiebung einer Kraft auch ein Drehmoment entsteht, das freilich bei Benutzung zweier Ruder durch ein Drehmoment im anderen Sinne aufgehoben wird. Gerade die Ruderaufgabe bietet aber eine Möglichkeit, die Begriffe: Kraftgewinn, Kräftepaar, Verlegung einer Kraft parallel ihrer Wirkungslinie, Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung eingehender zu behandeln.

Es greife in H (Fig. 1) die Muskelkraft P an; B sei der Drehpunkt, den ich, um die Einseitigkeit des Hebels klar zu machen, durch einen aus dem Wasser ragenden Pfahl verkörpert denke [1]). In N wirkt somit nach dem Hebelgesetz die größere Kraft R, wobei $R = \frac{P(a+b)}{b}$ ist. Durch R ist nun P ersetzt und man kann nun diese Kraft

[1]) Das Ruder ist für einen objektiven Beobachter als einseitiger Hebel aufzufassen, weil ja nicht das Wasser an der Schaufel bei ruhender Dolle, sondern die Dolle und damit das Boot bei ruhender Schaufel bewegt werden soll.



ganz außer acht lassen. Am Boden des Bootes wirkt, wegen der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, die P gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Gegenkraft P'[1]). Nun fügt man P' auf beiden Seiten eine Kraft $K = R - P$ hinzu, wodurch ja nichts geändert wird. Aber man sieht jetzt, daß ein Kräftepaar D mit dem Drehmoment $R \cdot a = \frac{P(a+b)a}{b}$ entstanden ist, das das Boot im umgekehrten Uhrzeigersinn (Fig. 2) zu drehen strebt, und daß noch eine Einzelkraft $K = R - P = P\frac{a}{b}$ übrig bleibt, welche das Boot vorwärts treibt. Dieser Kraft steht zunächst noch nicht der Widerstand Q des Wassers entgegen, sondern sie dient dazu, der Masse des Bootes eine Beschleunigung zu erteilen; erst bei wachsender Geschwindigkeit vergrößert sich auch der Widerstand, bis endlich die Geschwindigkeit so groß und gleichförmig geworden ist, daß die Kraft K nur noch dazu dient, den Wasserwiderstand zu überwinden.

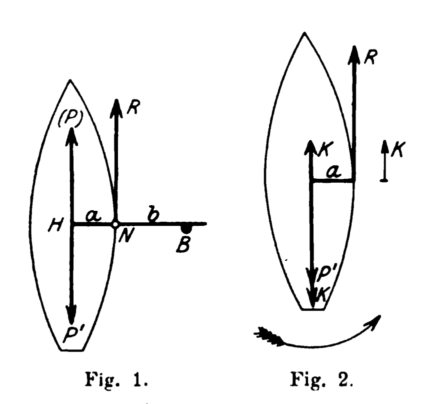
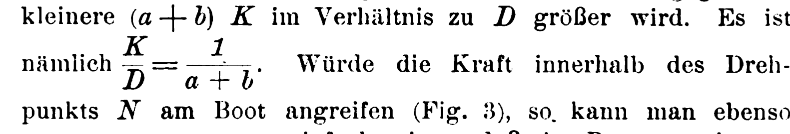
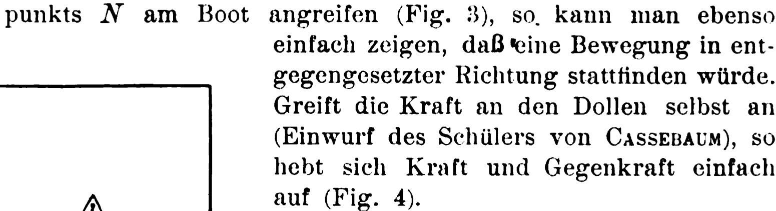


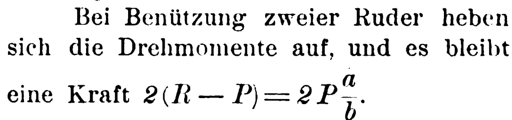
Fig. 1. Fig. 2.

Leicht kann man auch zeigen, daß das Verhältnis der Einzelkraft K zum Drehmoment D für eine bestimmte Ruderlänge ein und dasselbe ist, wie groß auch das Verhältnis $a:b$ genommen wird, daß dagegen für kleinere $(a+b)$ K im Verhältnis zu D größer wird. Es ist nämlich $\frac{K}{D} = \frac{1}{a+b}$. Würde die Kraft innerhalb des Drehpunkts N am Boot angreifen (Fig. 3), so kann man ebenso einfach zeigen, daß eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung stattfinden würde. Greift die Kraft an den Dollen selbst an (Einwurf des Schülers von Cassebaum), so hebt sich Kraft und Gegenkraft einfach auf (Fig. 4).





Bei Benützung zweier Ruder heben sich die Drehmomente auf, und es bleibt eine Kraft $2(R - P) = 2P\frac{a}{b}$.



Auch ich benütze ein Modell (Fig. 5): ein richtiges kleines Boot, in dessen Hohlraum verschiedene Gewichte gelegt werden können. Dieses Boot lasse ich auf der nahezu vollständig gefüllten pneumatischen Wanne schwimmen. Dadurch wird es möglich, auch die Drehbewegung, die beim Arbeiten mit einem Ruder entsteht, zu demonstrieren. An der Längswand der Wanne wird ein Draht aufgesteckt als Anschlagspunkt für das Ruder, das sich ebenfalls um eine Dolle auf einer Glasperle drehen kann und seitliche Bewegungsfreiheit hat. Die Ruderkraft wird durch stark dehnbare Federn verkörpert. Das eine Ende der Feder wird am Bug des Bootes

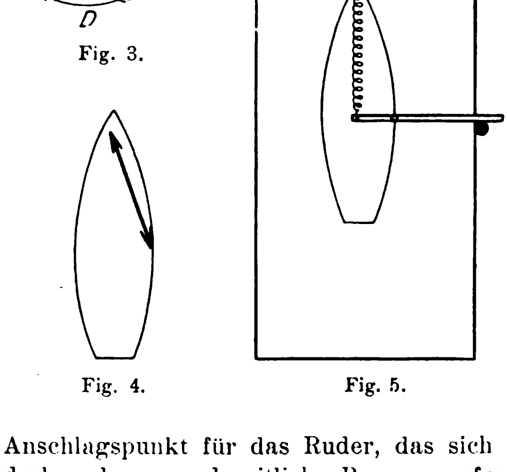


Fig. 3.

Fig. 4. Fig. 5.

[1]) Es ist hier der geeignete Ort, zu bemerken, daß Kraft und Gegenkraft im allgemeinen auf verschiedene Körper einwirken (z. B. Fall des Steines gegen die Erde), wodurch das Axiom dem Anfänger häufig verschleiert wird, während hier Kraft und Gegenkraft auf einen und denselben Körper wirken.

festgemacht, das andere kann mit einer Stecknadel auf dem leichten Holzruder befestigt werden. Dadurch und weil das Ruder mehrere Bohrungen zum Einsetzen in die Dollen hat, kann die Länge $a:b$ beliebig verändert und auch der Fall der Fig. 3 verwirklicht werden. Wird das eine Ende der Feder außerhalb des Boots (an der Breitseite der Wanne) festgemacht, so entspricht das dem auf dem Stege stehenden Ruderer CASSEBAUMS.

Das Ruder als Hebel.

Von Dr. J. Feder in Frankfurt a. M.

I. Dreh- und Beschleunigungspunkt des Ruders.

Die folgenden Zeilen enthalten einige Ergänzungen zu dem im Januarheft der vorliegenden Zeitschrift erschienenen Aufsatz von H. CASSEBAUM[1]) „Das Ruder als Hebel". Wie der Verfasser bemerkt, besitzt das Ruder relativ zum Boot und zur Erde verschiedene Drehpunkte. In der Tat haben wir bei dem fahrenden Boot einen Komplex von drei gegeneinander verschiebbaren Systemen:

I. das Boot,
II. das Wasser (= Erde),
III. das Ruder.

Berücksichtigen wir, daß jedes dieser drei Systeme bez. der beiden anderen je einen momentanen Drehpunkt besitzt, daß aber der Drehpunkt eines ersten Systems bez. eines zweiten zusammenfällt mit dem Drehpunkt des zweiten bez. des ersten, so werden wir bei unserem Komplex im ganzen drei Drehpunkte zu erwarten haben.

Wie sich leicht geometrisch oder mit Hilfe der Formeln der Kinematik beweisen läßt, liegen diese drei Drehpunkte in einer geraden Linie. Bezeichnen wir den gegenseitigen Drehpunkt zweier Systeme i und k mit Dik und die Winkelgeschwindigkeiten der Systeme II und III bez. I mit φ_2' und φ_3', so verhält sich

$$D_{12}\,D_{23} : D_{13}\,D_{23} = \varphi_3' : \varphi_2',$$

wobei die Vorzeichen dieser vier Größen zu berücksichtigen sind.

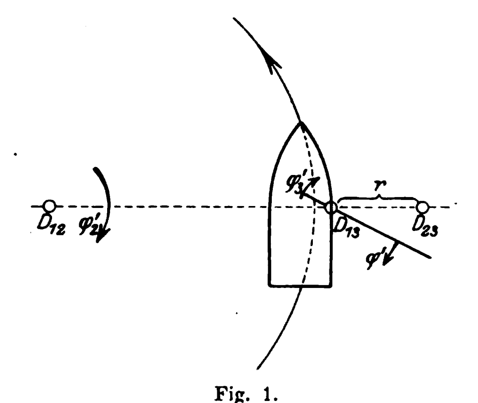


Fig. 1.

Solchen Komplexen von drei Systemen begegnet man in der Praxis nicht selten. Bei zwei ineinander greifenden Zahnrädern z. B. haben wir

I. die als ruhend gedachte Bezugsebene,
II. das Profil des einen Zahnrads,
III. das Profil des anderen Zahnrads.

Wir wollen aber den oben erwähnten Satz auf ein im Kreise fahrendes Boot anwenden. Bei der vorhin angegebenen Numerierung der drei Systeme fällt der Drehpunkt D_{12} in den Mittelpunkt des Kreises, D_{13} in den Dollen. Bewegt sich das Boot im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers in einer kreisförmigen Bahn (Fig. 1), so hat φ_2', die Winkelgeschwindigkeit des Wassers relativ zum Boot, den Sinn des Uhrzeigers. Die Geschwindigkeit des äußeren Dollens beträgt $v = D_{12}\,D_{13} \cdot \varphi_2'$. Bedeutet schließlich noch $\varphi_3' = \varphi'$ die Winkelgeschwindigkeit des Ruders bez. des Bootes, so folgt aus

[1]) Jahrgang 1919, p. 17 u. f.

$$D_{12} D_{23} : D_{13} D_{23} = \varphi_3' : \varphi_2',$$
$$D_{13} D_{23} \cdot \varphi_3' = D_{12} D_{23} \cdot \varphi_2' = (D_{12} D_{13} + D_{13} D_{23}) \cdot \varphi_2',$$
$$D_{13} D_{23} (\varphi_3' - \varphi_2') = D_{12} D_{13} \cdot \varphi_2' = v$$
$$D_{13} D_{23} = \frac{v}{\varphi_3' - \varphi_2'} = \frac{v}{\varphi' - \varphi_2'}.$$

Der Drehpunkt D_{23} hat demnach vom Dollen den Abstand $r = \frac{v}{\varphi' - \varphi_2'}$.

Bewegt sich das Boot in einer geradlinigen Bahn, so ist $\varphi_2' = o$, v die Geschwindigkeit des Bootes.

Die sich ergebende Formel

$$r = \frac{v}{\varphi'},$$

läßt sich auch leicht direkt verifizieren, da nämlich der durch den Abstand r vom Dollen bestimmte Punkt D_{23} in der Zeit Δt mit dem Boot um das Stück $v \cdot \Delta t$ vorwärts rückt, aber in derselben Zeit mit dem Ruder um das gleiche Stück $r \cdot \varphi' \cdot \Delta t = v \cdot \Delta t$ zurückgeht.

Der Drehpunkt D_{23} kann, je nach dem Wert des Verhältnisses $r = \frac{v}{\varphi'}$, die verschiedensten Lagen zum Boot und zum Angriffspunkt des Gegendrucks Q des Wassers gegen die Ruderfläche haben.

Betrachten wir der Einfachheit wegen das Ruder lediglich in seiner mittleren Lage und verstehen unter b den Abstand des mittleren Angriffspunktes der Kraft Q vom Dollen, so können zwischen r und b die folgenden Beziehungen bestehen:

1. $r < b$ oder $\frac{v}{\varphi'} < b$, $b\varphi' - v > o$. Die Kraft Q wirkt dann treibend auf das Boot in der Richtung seiner Bewegung (Fig. 2).

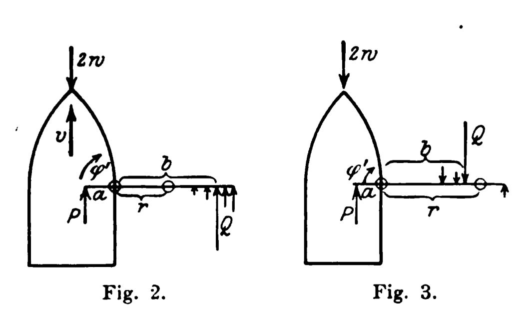


Fig. 2. Fig. 3.

2. $r > b$ oder $b\varphi' - v < o$.

Der Druck Q wirkt der Bewegung des Bootes entgegen; die Ruder dienen also zum Bremsen der Bewegung (Fig. 3).

3. Die Unmöglichkeit des Falles

$$r = b$$

erkennt man, wenn man r von einem kleinen zu großen Werten anwachsen läßt. Solange der Drehpunkt zwischen dem Dollen und der Schlagfläche des Ruders liegt, haben die Gegendrücke des Wassers gegen sämtliche Teile der Schlagfläche die gleiche Richtung. Die Mittelkraft Q all dieser Drücke trifft somit irgendwo die Schlagfläche. Es ist demnach $b > r$. Sobald aber bei wachsendem r der Drehpunkt D_{23} (eigentlich die Drehachse) in die Schlagfläche hineinrückt, sie also in zwei Teile zerlegt, wirken die Wasserdrücke auf diese beiden Teile in entgegengesetzten Richtungen. Die beiden Mittelkräfte dieser Teildrücke sind daher auch entgegengesetzt gerichtet. Während nun der Drehpunkt D_{23} in dem Raume zwischen diesen beiden Mittelkräften liegt, verläuft die Resultierende Q der letzteren außerhalb desselben Raumes; folglich ist $b \gtrless r$. Bei einer gewissen Lage des Drehpunktes D_{23} sind die beiden entgegengesetzten Mittelkräfte gleich groß, bilden also ein Kräftepaar. Dann liegt der Angriffspunkt der Resultierenden Q im Unendlichen. Entfernt sich nun D_{23} noch weiter vom Dollen und rückt wieder aus der Schlagfläche heraus, so wirkt der Wasserdruck auf sämtliche Teile der letzteren wieder in ein und derselben Richtung, so daß die Resultierende Q die Schlagfläche irgendwo trifft. Es ist also $b < r$ geworden. Der Drehpunkt des Ruders

kann demnach niemals mit dem Angriffspunkt des Wasserdrucks Q zusammenfallen.

Bei normalem Gebrauch der Ruder ist Fall 1 verwirklicht; diesen Fall setzen wir deshalb im Folgenden voraus.

Der Anblick der Fig. 2 lehrt:

„Wird die Geschwindigkeit des Bootes durch irgend eine Ursache (z. B. durch Gegenwind) verringert, während die Winkelgeschwindigkeit φ' der Ruder durch entsprechende Änderung der Kraft P auf gleicher Höhe erhalten bleibt, so rückt $\left(\text{gemäß der Gleichung } r = \frac{v}{\varphi'}\right)$ der Drehpunkt D_{23} näher ans Boot. Um so größer wird die Geschwindigkeit, mit der die einzelnen Teile der Schlagfläche gegen das Wasser bewegt werden, um so größer wird die Kraft Q, so daß die Verzögerung des Bootes wieder zum Teil ausgeglichen wird.“

Auch die Lage des Beschleunigungszentrums[1]) des Ruders relativ zur Erde läßt sich für konstantes φ' leicht bestimmen. Zieht man nämlich durch den Dollen D parallel zur Fahrtrichtung die Linie $n = DB$ (Fig. 4) uud läßt DB an der Bewegung von Boot und Ruder teilnehmen, so hat B die Zentralbeschleunigung $n \cdot \varphi'^2$ und außerdem die Beschleunigung p des Bootes. Ist demnach

$$n \cdot \varphi'^2 = p,$$

so hat B die Beschleunigung o, d. h. B ist Beschleunigungszentrum.

II. Die Kräfte auf Ruder und Boot.

Herr CASSEBAUM hebt in seinem Aufsatz hervor, daß man bei der Berechnung der auf das Ruder wirkenden Kräfte zu einem richtigen Resultat gelangt, wenn man das Hebelgesetz auf den Dollen als Drehpunkt anwendet, trotzdem die Annahme — Drehpunkt im Dollen — unzutreffend sei. Das ist nun nicht weiter zu verwundern, da ja der Hebel- oder allgemeiner der Momentensatz bei beliebiger Annahme des Drehpunktes anwendbar ist, vorausgesetzt, daß keine der wirksamen Kräfte vernachlässigt wird. Jener Satz, der zunächst lediglich für ein Gleichgewichtssystem gilt, kann aber bekanntlich auch bei einem beliebig bewegten System benutzt werden, insofern man die dem d'Alembertschen Prinzip entsprechenden Beschleunigungskräfte einführt. Zu deren Berechnung hilft aber die Kenntnis des Drehpunktes des Systems gar nichts, wie denn überhaupt dem Drehpunkt kaum die Bedeutung zukommt, die ihm im Unterricht häufig beigelegt wird. Bei Untersuchungen, die zum Gebiet der Kinematik gehören — es handle sich z. B. um die Entscheidung, ob die relative Bewegung zweier Systeme rollend oder gleitend ist, oder es sei die Bewegung der einzelnen Punkte eines Systems nach Richtung und Geschwindigkeit zu untersuchen

[1]) Bei der Bewegung einer Fläche relativ zu einer anderen existiert in jedem Moment in der ersteren ein Punkt, dessen Beschleunigung den Wert o hat. Für dieses sog. Beschleunigungszentrum leitet man aus den Formeln der Kinematik den grundlegenden Satz ab:

„Trägt man von beliebig vielen Punkten der beweglichen Ebene aus deren Beschleunigungen nach Größe und Richtung ab, so sind all die Dreiecke, die diese Beschleunigungen als Basis und das momentane Beschleunigungszentrum als Spitze besitzen, einander ähnlich“.

Dieser Satz läßt sich auch rein geometrisch beweisen, wenn man sich die momentane Beschleunigung eines jeden Punktes zusammengesetzt denkt aus der Beschleunigung, die er infolge seiner Drehung um das momentane Drehzentrum hat, und aus der Beschleunigung des Drehzentrums selbst.

Ist die Winkelbeschleunigung der beweglichen Ebene $\varphi'' = o$, so folgt aus unserem Satze, daß für alle Punkte dieser Ebene die Beschleunigungsrichtungen durch das Beschleunigungszentrum gehen.

Die Größe der einzelnen Beschleunigung reduziert sich dann auf die bekannte Zentripetalbeschleunigung $p = \frac{V^2}{R} = R \cdot \varphi'^2$.

und daraus eventuell die Arbeit gewisser Kräfte oder der Widerstand des Mittels gegen die Bewegung zu berechnen —, bei solchen Untersuchungen kann die Kenntnis des Drehpunktes gute Dienste leisten.

Die Beschleunigungskräfte aber lassen sich leicht berechnen, wenn man für den betreffenden Moment das Beschleunigungszentrum, die Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung kennt.

In der Dynamik spielt demnach das Drehzentrum eine untergeordnete, das Beschleunigungszentrum aber eine hervorragende Rolle. Da jedoch beide Punkte häufig zusammenfallen, so werden dem Drehpunkt manchmal Eigenschaften zugesprochen, die ihm nicht als Drehpunkt, sondern als Beschleunigungszentrum zukommen. So strahlen bei einer kreisförmigen Bewegung die Zentrifugalkräfte vom Mittelpunkt der Bahn aus, aber nicht etwa, weil letzterer Dreh-, sondern weil er Beschleunigungszentrum ist.

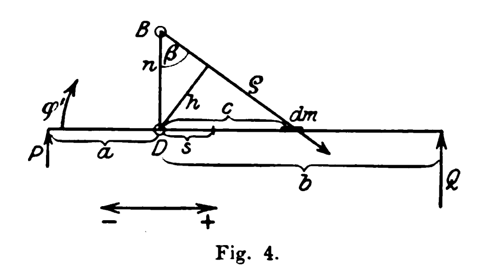


Fig. 4.

Mit Hilfe des letzteren Punktes wollen wir nun die Beziehungen zwischen den auf Boot und Ruder wirkenden Kräften aufsuchen, setzen aber der Einfachheit wegen das Ruder wieder durchweg in seiner mittleren Lage voraus.

Das Massenelement dm des Ruders (Fig. 4) habe vom Beschleunigungszentrum B den Abstand ϱ, h bezeichne den Abstand des Dollens D von ϱ, a den Hebelarm der am inneren Ruderende angreifenden Kraft P, b den Hebelarm des Wasserdrucks Q. Bei konstanter Winkelgeschwindigkeit φ' ist die Beschleunigung $\varrho \cdot \varphi'^2$ von dm nach B hin gerichtet. Der Beschleunigungsdruck hat die entgegengesetzte Richtung und die Größe

$$dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2.$$

Seine Komponenten sind:

entgegengesetzt zur Fahrtrichtung $dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2 \cdot \cos\beta$,
senkrecht „ „ $dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2 \cdot \sin\beta$,

wobei β den Winkel ϱ, n bezeichnet.

1. Die Summe der auf das Ruder wirkenden Kräfte parallel zur Fahrtrichtung beträgt

$$P + Q - \Sigma dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2 \cos\beta = P + Q - \Sigma dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2 \cdot \frac{n}{\varrho} =$$

$$P + Q - n\varphi'^2 \cdot \Sigma dm = P + Q - n\varphi'^2 \cdot Mr = (Mr = \text{Masse des Ruders}).$$

$$P + Q - p \cdot Mr \qquad (p = \text{Beschleunigung des Bootes}).$$

Dieser Druck wird vom Dollen aufgenommen und wirkt als treibende Kraft auf das Boot; allerdings ist noch der mit den Füßen des Rudernden ausgeübte Gegendruck P in Abzug zu bringen.

Die treibende Gesamtkraft ist demnach

$$2(Q - p \cdot Mr) = 2(W + M \cdot p). \quad [2\,W = \text{Gesamtwiderstand des Wassers}, \; 2\,M = \text{Gesamtmasse des Bootes}].$$

$$\text{I.} \quad Q = W + (M + Mr) \cdot p.$$

2. Die Summe der Kräfte senkrecht zur Fahrtrichtung ist

$$\Sigma dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2 \cdot \sin\beta = \Sigma dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2 \cdot \frac{c}{\varrho} = \varphi'^2 \Sigma dm \cdot c$$

$\cdot$ (c = Abstand des Teilchens dm vom Dollen).

$$\text{II.} \quad \varphi'^2 \cdot Mr \cdot s.$$

Hierin ist s der Abstand des Schwerpunktes des Ruders vom Dollen; s soll als positiv gelten, wenn der Schwerpunkt des Ruders auf seinem äußeren Teile liegt. Der Gegendruck zu der berechneten Kraft $\varphi'^2 \cdot Mr \cdot s$ wird vom Dollen oder von der Hand des Rudernden ausgeübt.



3. Die Summe der Drehmomente für den Dollen als Drehpunkt

$$P \cdot a - Q \cdot b + \Sigma dm \cdot \varrho \cdot \varphi'^2 \cdot h =$$
$$P \cdot a - Q \cdot b + \varphi'^2 \cdot \Sigma dm \cdot c \cdot n =$$
$$P \cdot a - Q \cdot b + \varphi'^2 \cdot n \cdot \Sigma dm \cdot c =$$
$$\text{III.}\quad P \cdot a - Q \cdot b + p \cdot Mr \cdot s = o.$$

Sind p und s positiv, welche Annahmen wohl zutreffen, so ergibt sich aus III.

$$P \cdot a < Q \cdot b.$$

Demnach ist P kleiner als der Wert, der sich aus der Gleichung $P \cdot a = Q \cdot b$ berechnet.

Setzen wir aus I. den Wert von Q in III. ein, so erhalten wir

$$P \cdot a = [W + (M + Mr) \cdot p] \cdot b - Mr \cdot p \cdot s \text{ oder}$$
$$\text{IV.}\quad P \cdot a = W \cdot b + M \cdot p \cdot b + Mr\,(b - s) \cdot p.$$

Da wohl immer $b > s$ ist, so sind die drei Summanden auf der rechten Seite von IV positive Größen.

Die Gleichung IV ergibt demnach für P einen größeren Wert als die Gleichung

$$P \cdot a = W \cdot b,$$

die aus IV. für $p = o$ folgt.

Zum Schluß wollen wir noch mit Hilfe des Drehzentrums die Arbeit der vier Kräfte P berechnen, von denen zwei an den inneren Ruderenden angreifen, die beiden anderen mittelst der Füße als Gegendruck gegen das Boot ausgeübt werden. Die Arbeit dieser vier Kräfte in der kleinen Zeit $\varDelta t$ beträgt[1]) (Fig. 2)

$$2P \cdot (r + a) \cdot \varphi' \cdot \varDelta t - 2P \cdot v \cdot \varDelta t = 2P\left(\frac{v}{\varphi'} + a\right) \cdot \varphi' \cdot \varDelta t - 2P \cdot v \cdot \varDelta t$$
$$= 2P \cdot a \cdot \varphi' \cdot \varDelta t = 2W \cdot v \cdot \varDelta t + \varDelta Lb + \varDelta Lr + 2\varDelta Lr, w,$$

worin $2W \cdot v \cdot \varDelta t$ die gegen den Widerstand $2W$ geleistete Arbeit, $\varDelta Lb$ und $\varDelta Lr$ die Zunahmen der lebendigen Kräfte des Bootes und der Ruder bedeuten, während $2 \cdot \varDelta Lr, w$ die Zunahme der direkt von den Rudern auf das Wasser übertragenen Arbeit darstellt.

$$\varDelta Lb = \varDelta\left(\frac{2M \cdot v^2}{2}\right) = 2Mv \cdot p \cdot \varDelta t$$

$$Lr = 2 \cdot \Sigma \frac{dm\,(v - c \cdot \varphi')^2}{2} = (v^2\,\Sigma dm - 2v \cdot \varphi'\,\Sigma dm \cdot c + \varphi'^2 \cdot \Sigma dm \cdot c^2)$$
$$= (v^2 \cdot Mr - 2v \cdot \varphi' \cdot Mr \cdot s + \varphi'^2 \cdot J),$$

$\varDelta Lr = 2\,(Mr \cdot v \cdot p - Mr \cdot s \cdot \varphi' \cdot p)$. Wir erhalten demnach

$$2P \cdot a \cdot \varphi' \cdot \varDelta t = 2W \cdot v \cdot \varDelta t + 2M \cdot v \cdot p \cdot \varDelta t + 2\,(Mr \cdot v \cdot p - Mr \cdot s\,\varphi' p) \cdot \varDelta t + 2\varDelta Lr, w$$

oder

$$P \cdot a \cdot \varphi' = W \cdot v + (M + Mr) \cdot v \cdot p - Mr \cdot \varphi' \cdot s \cdot p + \frac{\varDelta Lr, w}{\varDelta t}.$$

Mit Hilfe von I. $P \cdot a \cdot \varphi' = Q \cdot v - Mr \cdot \varphi' \cdot s \cdot p + \dfrac{\varDelta Lr, w}{\varDelta t}$,

oder nach III. $V \cdot Q\,(b\varphi' - v) = \dfrac{\varDelta Lr, w}{\varDelta t}$.

Letztere Gleichung hat den physikalisch selbstverständlichen Inhalt, daß die vom Ruder mittelst des Drucks Q auf das Wasser übertragene Arbeit sich in letzterem als Zunahme der kinetischen und potentiellen Energie wiederfindet.

Würde das Ruder sich statt gegen bewegliche Wassermassen (Fall A) gegen einen festen Punkt anstemmen, der vom Dollen den Abstand b hat (Fall B), so wäre

[1]) Die Arbeit der vier Kräfte P ist von der Wahl des Bezugssystems unabhängig. Anstatt demnach die Wege der Angriffspunkte dieser vier Kräfte auf die Erde zu beziehen, hätten wir sie auch relativ zum Boot berechnen können.



$\Delta Lr, w = o$. Der Drehpunkt des Ruders würde mit dem Angriffspunkt von Q zusammenfallen, es wäre also $r = \frac{v}{\varphi'} = b$ oder $b\varphi' - v = o$.

Da zu zwei Lagen des Ruders, die bezüglich seiner mittleren Lage symmetrisch sind, gleiche Werte von r und damit bei konstantem φ' auch gleiche Werte von $v = r \cdot \varphi'$ gehören würden, so wäre für die mittlere Ruderlage $p = o$. Die Gleichungen I und IV würden demnach im Falle B die vereinfachte Gestalt $Q = W$ und $P \cdot a = Q \cdot b$ annehmen. Der aus letzterer Beziehung berechnete Wert von P wäre kleiner als der aus IV hervorgehende, vorausgesetzt, daß das Boot in beiden Fällen A und B die gleiche Geschwindigkeit v besitzt und demnach auch den gleichen Widerstand $2W$ zu überwinden hat.

Die induktive Behandlung der Statik nach der Tariermethode Wilhelm Neu's und ihre Verwertung in den physikalischen Übungen.

Von Prof. Schäcker in Annaberg i. Erzgeb.

Der Aufsatz des Herrn Prof. Schulze im 2. Heft dieses Jahrganges veranlaßt mich, auf die von Wilhelm Neu in seiner vor 25 Jahren erschienenen, leider vergessenen oder doch wenig bekannten schönen Programmabhandlung „Apparate und Versuche zur induktiven Behandlung der Statik“ [1]) entwickelte Methode und insbesondere auf die Eignung dieser Versuche zu Schülerübungen hinzuweisen.

Während im Schulzeschen Verfahren durch Auswahl möglichst leichter Angriffskörper deren Gewicht ausgeschaltet wird, geschieht dies von Neu durch Tarieren mittelst Spiralfedern (sog. Hosenträgerspiralen), die durch die gegebenen Kräfte gespannt werden und mit Hilfe von Schnur und Wirbel den Angriffskörper in eine bestimmte Lage bringen. Die gesuchte Ersatzkraft ist alsdann diejenige, die die gleiche Spannung hervorbringt, d. h. die die Lage des Angriffskörpers nicht ändert. Die Methode liefert somit nicht die Gegenresultante, sondern die Resultante selbst.

Neu führt seine Versuche als Wandtafelversuche aus. Für die Schülerübungen schien mir diese Form, so schön und zweckmäßig sie an sich sein mag, aus praktischen Gründen einer Abänderung bedürftig. Ich lasse seit sechs Jahren die Versuche an einem Gestell ausführen, das unser Schultischler für 12 M. hergestellt hat. Der Preis dürfte sich allerdings heute wesentlich höher stellen. Seine Einrichtung und die Versuchsanordnung ist aus Fig. 1 ersichtlich. a ist ein Grundbrett von 130 cm Länge und 25 cm Breite. In das Grundbrett ist in 10 cm Abstand vom Ende je ein trapezförmiges Seitenteil b von 80 cm Höhe eingezapft, dessen parallele Seiten 25 cm und 3 cm betragen. Das rechte Seitenteil trägt an der Vorderseite noch eine Leiste c; beide sind durch eine herausnehmbare Leiste e verbunden. Die Leisten e, c, d sind von gleichen Dimensionen (2×3 cm) und dienen zur Befestigung der Rollen, gestatten somit, Kräfte in beliebiger Richtung anzubringen. Auf der Oberseite von d und e, sowie auf dem linken Seitenteil b werden Löcher gebohrt, die zur Aufnahme von Wirbeln dienen, und zwar auf e und d je 2 im Abstande von etwa 20 cm von den Enden und 1 auf der äußeren Seite von b links. An den vorderen schmalen Seiten befinden sich an geeigneten Stellen ebenfalls Löcher für die Tragstifte mit Ösen. Der Abstand der letzteren vom Holze entspricht dem Abstande der Rollen. Die Schnuren mit den etwa 15—20 cm langen Tarierfedern werden durch die Ösen geführt und am Wirbel befestigt. Zum Tarieren eines Körpers dienen 3 Federn, falls man die Kräfte in einer Ebene wirken läßt. Liegen sie nicht in einer Ebene,

---

[1]) Kgl. Realgymnasium Augsburg 1894; vgl. auch diese Zeitschrift II, 94.



so ist eine 4. Feder zu benutzen, die man mit Wirbel und Tragstift auf einer etwa 40 cm langen Leiste anbringt. Die Leiste wird sodann mit einem Ende auf *d* mittelst Zwinge festgeschraubt. Die zum Weinholdschen Rahmenstativ gehörigen Rollen sind gut verwendbar, allerdings bei Anschaffung einer größeren Anzahl zu teuer. Wohlfeiler sind die von Keyl in Dresden zu beziehenden, für den vorliegenden Zweck besonders ausgestatteten, in Kugellagern laufenden Magnaliumrollen (4,40 M. i. J. 1915).

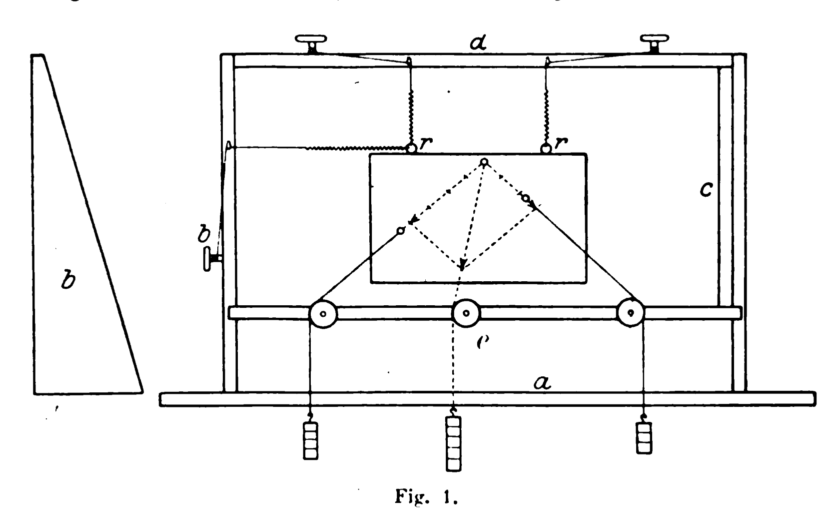


Fig. 1.

Da diese Rollen auch für andere Zwecke recht gut brauchbar sind (z. B. zur Herstellung von Wägelchen), möge eine kurze Beschreibung folgen: Die Flügelschraube (s. Fig.) ist mit ihrem unteren Ende an einem trapezförmigen Eisenstück befestigt, das mit der größeren Fläche *c* längs *b* verschoben werden kann, da die Schraube in einem länglichen Loch bei *a* etwa 3 mm Spielraum hat, so daß während der Verschiebung die Fläche *d* einige Millimeter nach rechts parallel zu sich selbst verschoben wird.

Mit dem beschriebenen Apparat können alle von Neu angegebenen Versuche ausgeführt werden. Da ich nicht voraussetzen darf, daß dieselben allgemein bekannt sind, mögen die wichtigsten in aller Kürze beschrieben werden.

1. Das Kräfteparallelogramm. Die Tarierfedern *a* und *b* werden in den Ring *R* mittelst Häkchen ein-

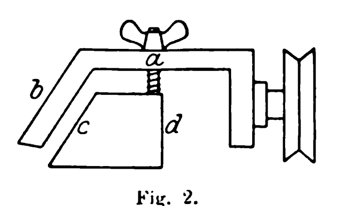


Fig. 2.

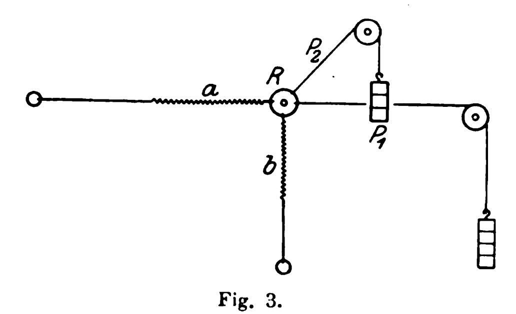


Fig. 3.

gehängt und die Gewichte P_1 und P_2 über die Rollen gelegt. Die Tarierfedern werden nun mit Hilfe der Wirbel soweit gespannt, daß *a* und *b* einen rechten Winkel bilden, oder man stellt die Schieberspitze eines Vertikalmaßstabes in den Mittelpunkt des Ringes. Hierauf entfernt man die Kräfte P_1 und P_2 und sucht Richtung und Größe der Ersatzkraft, indem man die Kraftschnur so spannt, daß der Ring wiederum einspielt. Ein Reißbrett wird mit Hilfe einer Holzschraubzwinge vertikal dahinter gestellt und die Kraftrichtungen darauf mit Hilfe eines kleinen Spiegels fixiert. Zusammensetzung von drei und mehr Kräften.

2. Kräfte in einer Ebene mit verschiedenen Angriffspunkten. Die Anordnung ergibt sich aus Fig. 1. Als Angriffskörper benutze ich ein Brettchen aus Lindenholz, auf das ein Bogen Papier aufgezweckt wird. Mit Hilfe der Spitzen zweier Vertikalmaßstäbe wird die Lage des Brettchens fixiert. Die Kraftschnuren werden mit Reißzwecken befestigt.

3. Parallele Kräfte. Natürlich kann auch das Verfahren von Varignon benutzt werden zum Übergang zu den parallelen Kräften. Dieser Übergang wird aber auch in besonders schöner und einfacher Weise folgendermaßen bewirkt. Auf der Rückseite des Brettchens werden zwei konzentrische Kreise mit den Radien 5 und 15 cm gezogen und die Kräfte 3 und 1 tangential angebracht, so daß der Kreismittelpunkt ein Punkt der Resultante ist. Man zeigt, daß er es auch dann bleibt, wenn man die tangentiale Kraft des äußeren Kreises längs desselben verschiebt, während die des inneren Kreises ungeändert bleibt, insbesondere auch in denjenigen Lagen, in denen beide Kräfte parallel und antiparallel gerichtet sind. Die Richtung und Größe ergibt sich nach dem bisherigen Verfahren. Man wird nicht versäumen, die Schüler für mehrere aufeinanderfolgende Lagen die Resultante konstruieren zu lassen, um zu sehen, in welcher Weise sich ihre Richtung und Größe bis zum Übergange in die Grenzlagen ändern.

Eine wesentliche Vereinfachung der Versuche tritt ein, falls die Kräfte vertikal wirken, da dann die seitliche Tarierung wegfällt. Der weitere Ausbau der Methode führt auf die Zusammensetzung von parallelen Kräften im Raume. Die Ausführung bietet nach dem Gesagten keine Schwierigkeiten.

Über eine Methode zur Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit von Geschossen[1].

Von Dr. **Erich Günther** in Dresden.

Der Krieg bewirkte im Physikunterricht eine eingehendere Behandlung der Fragen, die zur Kriegstechnik in Beziehung stehen. So ist wohl allgemein die Ballistik stärker betont worden, als es sonst der Fall war. Mit der Grimsehl-Pistole ist eine experimentelle Behandlung des Gebietes, soweit es für die Schule in Frage kommt, recht gut möglich. Gleichwohl bleibt das Fehlen einer Verknüpfung mit den wirklichen Vorgängen des Schusses als Mangel fühlbar, und aus diesem Gedanken heraus habe ich eine verhältnismäßig einfache Methode zur Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit von Gewehrgeschossen ausgearbeitet, die recht befriedigende Ergebnisse liefert und die sich zur Vorführung im Unterricht gut eignet. Besonders bei den Unterrichtskursen in Physik für Kriegsverletzte erweckte die Methode großes Interesse. Ist doch die Frage nach der Anfangsgeschwindigkeit und damit nach der kinetischen Energie von Geschossen grundlegend für das ganze Gebiet, und naturgemäß wird ein Versuch, der die Beziehung zum realen Vorgang herstellt, auf hervorragende Teilnahme stoßen. Rein physikalisches Interesse erhält das Problem dadurch, daß bei den sehr großen Geschwindigkeiten, besonders wenn kleine Geschoßwege verwendet werden, eine genaue Methode zur Messung sehr kleiner Zeiten angewandt werden muß. Die sonst übliche Methode, bei der das Geschoß auf seinem Wege elektrische Kontakte auslöst und die Registrierung der Zeit durch Funken oder in ähnlicher Weise auf einem Chronographen erfolgt, ist wegen ihrer Kompliziertheit im Unterricht kaum anwendbar.

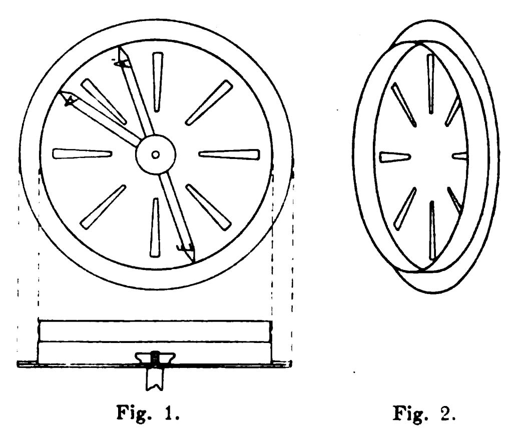
Die von mir verwendete Methode beruht darauf, daß eine sehr rasch rotierende Trommel senkrecht zur Achse durchschossen wird; Einschuß- und Ausschußstelle liegen

[1]) Bei der Schriftleitung eingelaufen am 15. Nov. 1918.



dann nicht, wie bei der ruhenden Trommel, auf den Endpunkten eines Durchmessers des Kreises, der den Querschnitt der Trommel bildet, sondern die Ausschußstelle ist entgegen dem Umlaufssinne der Trommel verschoben. Aus dem Betrag dieser Verschiebung, dem Umfang und der Umdrehungszahl der Trommel ergibt sich die Zeit, die das Geschoß zum Durchlaufen des Trommeldurchmessers braucht. Die Kürze des verwendeten Geschoßweges ist ein besonderer Vorzug der Methode, der ihre Vorführung im geschlossenen Raume eines Zimmers ermöglicht[1]).

Die experimentelle Durchführung gestaltet sich folgendermaßen: Auf der Achse eines Elektromotors wird eine kreisrunde Scheibe aus starker Holzpappe von 45 cm Durchmesser befestigt. Auf diese ist ein Kartonstreifen von 3,5 cm Breite senkrecht zur Scheibe derart aufgeleimt, daß ein Hohlzylinder von 38,2 cm Durchmesser entsteht, dessen Achse in die Verlängerung der Motorachse fällt; auf den freien Rand der Scheibe ist ein Pappring von 38,2 cm innerem und 45 cm äußerem Durchmesser aufgeleimt, der den Kartonzylinder gegen die auftretenden beträchtlichen Zentrifugalkräfte zusammenhält. Die Scheibe ist außerdem mit acht regelmäßig verteilten Sektorschlitzen versehen. Die Befestigung der Scheibe auf der Motorachse geschieht durch eine Schraube, die durch die Scheibenmitte senkrecht zur Scheibe hindurchgeht und mit einem breiten Kopf die Scheibe gegen die Schnurlaufrolle des Motors drückt; in derselben Weise können auch Lochsirene, Farbscheiben usf. auf der Motorachse befestigt werden (Fig. 1 und 2).


Fig. 1. Fig. 2.

Die Sektorschlitze der Scheibe dienen zu der auf stroboskopischem Wege erfolgenden Feststellung der Umdrehungszahl. Beleuchtet man nämlich die Scheibe in der Richtung der Achse mit dem Projektionsapparat, in dem als Lichtquelle eine mit Wechselstrom von 100 Wechseln in der Sekunde betriebene Bogenlampe verwendet wird, so erscheint bei 12,5 Umdrehungen in der Sekunde ein ruhig stehender, stroboskopischer Stern mit acht dunklen Strahlen auf hellem Grunde, wenn man die Scheibe von der Rückseite betrachtet; von einem Durchgang des Wechselstromes durch Null bis zum nächsten, oder von einem Verdunkelungsaugenblick der Lampe bis zum nächsten, also während $^1/_{100}$ Sek. hat sich die Scheibe dann gerade um $^1/_8$ ihres Umfanges weitergedreht. Zu einer vollen Umdrehung braucht sie dabei $^8/_{100}$ Sek. oder ihre Umdrehungszahl ist $\frac{100}{8} = 12{,}5$ in der Sekunde. Erhöht man die Tourenzahl ein wenig, so dreht sich der stroboskopische Stern langsam in demselben Sinne, erniedrigt man sie etwas, so dreht er sich im entgegengesetzten Sinne, wie die Scheibe[2]). Bei ruhig stehendem Stern entspricht also $^1/_8$ des Trommelumfanges, das sind 15 cm, einer Zeit von $^1/_{100}$ Sek.; demnach entspricht eine Länge des Trommelumfanges von 1,5 mm eine Zeit von $^1/_{10000}$ Sek., so daß Zeiten von 10^{-5} Sek. noch einigermaßen

[1]) Nach Ausarbeitung der Methode bemerkte ich, daß der gleiche Gedanke einem Geschwindigkeitsmesser für Geschosse von Hartmann & Braun (D.R.P.) zugrunde liegt; vergl. Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen; VI. 1911. S. 197.

[2]) Die interessanten stroboskopischen Erscheinungen bei Verwendung der Wechselstrombogenlampe sollen gelegentlich besonders beschrieben werden. — Vergl. H. Rebenstorff, Stroboskopische Beobachtungen beim Wechselstrom-Bogenlicht (diese Zeitschrift 32, S. 136 [1919]); in dieser Mitteilung werden unabhängig von mir die fraglichen Erscheinungen nach der qualitativen Seite hin kurz behandelt. (Anmerkung bei der Korrektur.)

zu schätzen sind. Der stroboskopische Stern kann auch auf einem hinter der Scheibe in 2÷3 m Abstand aufgestellten weißen Schirm vergrößert aufgefangen werden; er ist dann sogar noch besser sichtbar, als auf der Scheibe selbst.

Der verwendete Elektromotor wird mit Sondererregung betrieben; damit läßt sich eine gute Konstanz der Tourenzahl erreichen. Das Feld wird kräftig mit 12 Amp. erregt, während am Anker eine durch einen Abzweigwiderstand von 0÷18 Volt genau regulierbare Spannung liegt. In den Innenraum der Trommel wird ein kleiner, mit Millimeterpapier überspannter, quadratischer Kartonrahmen von 10 cm Seitenlänge senkrecht zur Scheibe derart fest aufgestellt, daß eine kräftig markierte, horizontal verlaufende Nullinie genau in die Verlängerung der Motorachse fällt; ein richtiger Schuß muß durch die Nullinie hindurchgehen; Abweichungen von der Nullinie lassen sich in weiter unten angegebener Weise zur Korrektion der Zeitmessung verwenden. In den Kartonzylinder wird der eigentliche Schußzylinder eingelegt, der aus einem kräftigen Papierstreifen von 120 cm Länge und 7 cm Breite gebildet wird; der zum Durchschießen dienende Rand des Papierstreifens überragt also den Kartonzylinder um 3,5 cm. Die Befestigung des Papierstreifens im Kartonzylinder geschieht durch von innen angedrückte Plastilinastreifen, so daß er leicht ausgewechselt werden kann. Bei der raschen Umdrehung der Trommel liegt der Papierstreifen straff und genau am Kartonzylinder an.

Das zu den Versuchen verwendete Gewehr, ein Tesching, ist ein deutscher Präzisionskarabiner (22 Short) von 6 mm Kaliber mit gezogenem Lauf und Mauserverschluß; als Munition dient die bekannte kleine Flobertpatrone mit Rundkugelgeschoß und sehr schwacher Ladung, die nur durch das Knallquecksilber des Zündhütchens ohne besondere Pulverfüllung gebildet wird. Der Knall ist dabei auch im Zimmer sehr schwach. Das Gewehr wird in zwei schweren, eisernen Stativen fest eingeklemmt, so daß die Schußrichtung parallel zur Scheibe durch die Nullinie des Korrektionsschirmes, also durch die Achse der Trommel hindurchgeht und die Mündung des Gewehres etwa 1 m von der Trommel entfernt ist; das Einvisieren geschieht nach Herausnahme des Mauserverschlusses unmittelbar durch den Lauf.

Dann wird der Motor durch Verschieben des Abzweigwiderstandes auf die richtige Tourenzahl gebracht und sobald der stroboskopische Stern ruhig steht, erfolgt der Schuß. Die Kugel schlägt durch den Papierstreifen der Meßtrommel, durch den Korrektionsschirm und schließlich in einen großen Klotz aus weichem Holz, der innerhalb einer mit Watte dick ausgepolsterten, starkwandigen Kiste steht; ein Zurückprallen der Kugel ist damit ausgeschlossen und der Versuch ist somit bei genügender Vorsicht vollkommen ungefährlich, so daß Bedenken, ihn im Unterricht vorzuführen, hinfällig sind.

Die Schußstellen ergeben auf dem Papierstreifen glatte, runde Löcher, die an den Rändern nur wenig eingerissen sind, so daß genaue Messungen möglich werden. Nun wird die Entfernung der Ausschußstelle von dem Punkt der Trommel gemessen, der der Einschußstelle genau diametral gegenüberliegt. Zur Demonstration dieser Entfernung ist die Scheibe noch mit zwei an den Enden zugespitzten Kartonzeigern versehen, die durch den zur Scheibenbefestigung auf der Motorachse dienenden Schraubenkopf gehalten werden (vergl. Fig. 1). Der eine Zeiger ist ein Scheibendurchmesser von 38 cm Länge; er wird mit dem einen Ende E auf die Einschußstelle eingestellt; sein anderes Ende A' zeigt dann auf den Ausschußpunkt, der bei ruhender Trommel auftreten würde. Der zweite Zeiger, der einen Halbmesser der Scheibe darstellt, wird mit seinem Ende A auf die wirkliche Ausschußstelle, wie sie mit rotierender Trommel erhalten war, eingerichtet. Der Bogen AA' gibt dann die Länge der Verschiebung, die der Zeitmessung zugrunde zu legen ist. Ist l diese Länge in Zentimetern, s der Trommeldurchmesser, n die Tourenzahl in der Sekunde, so ist die Zeit, die das Geschoß zum Durchfliegen des Weges s braucht:



$$t = \frac{l}{n \cdot \pi \cdot s} \text{ sec}$$

und demnach die Geschwindigkeit des Geschosses:

$$c = \frac{n \cdot \pi \cdot s^2}{l} \text{ cm sec}^{-1}.$$

So ergab sich:

$n = 12{,}5$ $s = 38{,}2$ cm $t = \frac{l}{1500}$ sec $c = \frac{57\,300}{l}$ cm sec^{-1}

l cm	c m sec^{-1}
3,05	188
3,00	191
3.20	179
3,10	185

Also im Mittel: $c = 186\ m$ sec^{-1} und somit die Mündungsenergie $E_M = \frac{m v^2}{2g}$ zu etwa 1,76 mkg bei einem Geschoßgewicht von 1 g.

Besonders interessant gestalten sich die Versuche, wenn man das Geschoß zunächst ein dünnes Brett, eine Pappe, ein weiches Blech durchschlagen läßt und dann erst die Geschwindigkeit bestimmt. Dadurch erhält man den Energiebetrag, der zum Durchschlagen des Hindernisses aufgewendet worden ist. So ergab sich nach dem Durchschlagen eines Brettchens von 0,5 cm Dicke eine Geschwindigkeit $c = 128\ m$ sec^{-1}, also eine Energie von nur noch 0,84 mkg.

Geht die Schußrichtung nicht durch die Achse, sondern ein wenig seitlich vorbei, was bei den zuletzt erwähnten Versuchen oder bei nicht sehr sorgfältigem Einvisieren geschehen kann, so ändert sich die Länge des Geschoßweges nur unwesentlich, dagegen können beträchtliche Fehler bei der Zeitbestimmung auftreten. Sei E der Einschuß, A' der Ausschuß bei ruhender Trommel (Fig. 3), EA' also der Geschoßweg, so gibt $MN = x_1$ auf dem bei M aufgestellten Schirme die seitliche Verschiebung der Geschoßbahn gegenüber der Achse an. Dreht sich die Trommel im angegebenen Sinne, so erfolgt der Ausschuß nicht bei A' sondern bei einem Punkte, der sich im Augenblicke des Einschusses bei A befindet. EA', der Geschoßweg, ist vom Durchmesser EF nur wenig verschieden Der Zeitberechnung ist aber nicht der Bogen $\widehat{FA} = l$, sondern der Bogen $\widehat{A'A} = k + l$ zugrunde zu legen. Steht EA' annähernd senkrecht zu MN und ist x_1 klein, so ist angenähert $k = FA' = 2\,x_1$. Diese Korrektion ist bei den oben angegebenen Zahlen schon berücksichtigt. Eine Verbesserung erhält man noch, wenn man bei G und H gleichweit entfernt von M zwei weitere Schirme aufstellt. Liegen die Nullpunkte G, M, H in einer Geraden, was sich leicht erreichen läßt, wenn die drei Schirme auf einer gemeinsamen Holzleiste befestigt werden, und sind J, N, K die Schußspuren, so erhält man die Korrektionsgrößen

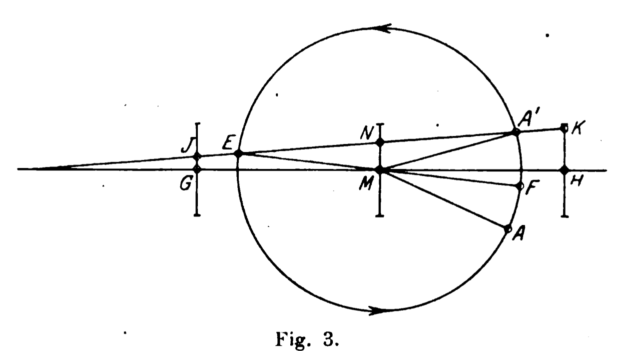


Fig. 3.

$x_2 = GJ$ und $x_3 = HK$. Da nun $2\,x_1 = x_2 + x_3$ so wird:

$$k = \frac{x_2 + 2\,x_1 + x_3}{2}$$

wobei das Vorzeichen von k sinngemäß zu berücksichtigen ist.

Aus der Betrachtung der drei Größen x_1, x_2, x_3 ergab sich übrigens, daß eine

merkliche seitliche Ablenkung des Geschosses durch die Drehung der Trommel nicht eintrat.

Zum Vergleich seien schließlich noch die für das deutsche Infanteriegeschoß M 98/S gültigen Zahlen angegeben:

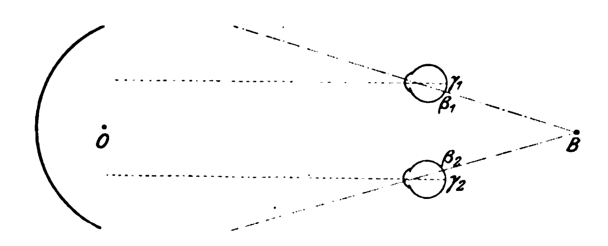
Geschwindigkeit: $c = 875 \text{ m sec}^{-1}$, Gewicht: $S = 10$ g, Kaliber: $K = 8{,}1$ mm.
Mündungsenergie: $E_M = 382{,}8$ mkg.

Kleine Mitteilungen.

Ein wenig bekanntes Spiegelbild.

Von **P. Terpstra** in Groningen.

Bei der Behandlung der Bildererzeugung durch Hohlspiegel wird gewöhnlich zuerst die Gleichung $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = 2/R$ abgeleitet; darauf mittelst dieser Gleichung untersucht, welche Bilder möglich sind und zuletzt werden die Resultate mit der Wahrnehmung verglichen. Dieser Methode ist es vielleicht zuzuschreiben, daß man nicht bemerkt hat, daß beim Hohlspiegel noch eine Anzahl Bilder wahrgenommen werden können, die nicht aus der Spiegelgleichung folgen. Soweit mir bekannt ist, ist das „Leerboek der Natuurkunde door Dr. E. Bouwman" (Amsterdam) das einzige, worin die betreffenden Bilder nachgewiesen werden. Bei der Bildererzeugung durch Hohlspiegel wird da bemerkt: „Ist das Bild reell, so kann man außerdem noch ein virtuelles aufrechtes Bild wahrnehmen, wenn das Auge sich zwischen dem reellen Bild und dem Spiegel befindet." Verfährt man in der hier angegebenen Weise, so wird das betreffende virtuelle Bild ohne Mühe gefunden. Ein eigentümliches Spannungsgefühl im Auge läßt dabei vermuten, daß das Auge auf ungewohnte Weise gebraucht wird. Das ist auch tatsächlich der Fall. Die vom Spiegel herkommenden, nach dem reellen Bilde konvergierenden Strahlen werden durch das Auge zu einem Bilde auf der Netzhaut gebrochen. Nun werden bei einem emmetropischen akkommodationslosen Auge konvergente Strahlen vor der Netzhaut vereint, so daß das wahrgenommene Bild nicht vollkommen scharf sein kann. In den meisten Fällen bemerkt man aber nichts davon. Das (unscharfe) Bild auf der Netzhaut hat denselben Stand wie das reelle Spiegelbild, das als virtuelles Objekt für das Auge auftritt, so daß gewöhnlich ein aufrechtes Bild wahrgenommen wird. Im besondern Fall, daß das reelle Spiegelbild aufrecht steht, wird in der angedeuteten Weise ein umgekehrtes Bild gesehen.



Wenn das durch den Spiegel zurückgeworfene Bündel breit genug ist, um zu gleicher Zeit in beide Augen zu fallen, so sieht man ungekreuzte Doppelbilder. Die Erklärung davon steht in nahem Zusammenhang mit der jener bekannten Doppelbilder, die wahrgenommen werden, wenn man von zwei hintereinander gestellten Nadeln die zunächst stehende fixiert. Bekanntlich hängen die Akkommodation und die Konvergenz der Gesichtslinien nahe zusammen. Dadurch werden die Gesichtslinien sich, wenn konvergentes Licht in die Augen fällt, parallel stellen. Aus der Figur ist ersichtlich, daß die Netzhautbilder in diesem Falle auf die nasale Seite der Zentralgruben fallen. Die Netzhautbilder fallen also auf disparate Netzhautpunkte, so daß Doppelbilder wahrgenommen werden die ungekreuzt sind, weil beim nach außen Projizieren der Gesichtseindrücke die linke Wahrnehmung links und die rechte



rechts fällt. Dem entspricht folgende Beobachtung: Man nimmt die oben beschriebenen ungekreuzten Doppelbilder wahr; entfernt darauf schnell den Kopf von dem Spiegel bis in einige Entfernung an dem reellen Spiegelbild vorbei. Letzteres wird dann auch doppelt gesehen, aber jetzt sind die Bilder gekreuzt, da jetzt die Netzhautbilder beide auf der temporalen Seite der Zentralgruben liegen.

Die oben beschriebenen Bilder können natürlich auch wahrgenommen werden bei reellen Bildern, die durch Linsen entworfen werden.

Ein neuer Natriumbrenner.

Von Dr. **Nikolaus Lyon** in Freiburg i. Br.

Die bisher verwendeten Bunsenbrenner für monochromatisches Licht waren meist recht lichtschwach oder erforderten sorgfältige Wartung.



Durch passende Bindemittel können aus geeigneten Natriumverbindungen längere Stäbchen geformt werden, die in die nichtleuchtende Flamme eines Bunsenbrenners gebracht, eine sehr helle gleichmäßige Natriumbeleuchtung ergeben. Der Abbrand dieser etwa 5 cm langen Stäbchen ist nur gering, eine Erneuerung wird erst nach etwa 50 stündigem Gebrauch notwendig. Der aus der Figur ersichtliche kleine Stäbchenhalter kann auf jeden beliebigen Bunsenbrenner gesteckt werden und gestattet in bequemer regulierbarer Weise die Stäbchen in die Flamme zu bringen. Eine Erneuerung der Stäbchen erfolgt mit einem Griff ohne Unterbrechung des Betriebes.

Der Stächenhalter wird in 2 Größen hergestellt.
Größe I für Brenner bis zu 14 mm Durchmesser,
„ II „ „ „ „ 18 mm „

Halter und Natriumstäbchen sind vom technischen Assistenten des physikalischen Instituts Herrn Weiß zu beziehen.

Richtung des Stromes in der Holtzschen Trichter-Ventilröhre und beim Übergang von Spitze zu Platte.

Von Prof. **E. Kleinen** in Darmstadt.

In Preisverzeichnissen für physikalische Apparate, in manchen Experimentierbüchern und Lehrbüchern findet man die Angabe: „Der Strom geht in einer Holtzschen Trichterröhre von der Basis der Trichter zur Spitze“. In einer neuangeschafften Holtzschen Röhre ging aber der Strom von der Spitze zur Basis. Zwei Holtzsche Röhren aus anderen hiesigen Schulsammlungen lieferten das gleiche Ergebnis. Infolgedessen habe ich die diesbezügliche Literatur nachgesehen und folgendes festgestellt: In der zuerst bekanntgegebenen Trichterröhre ging der Strom von der Basis zur Spitze. Später machte POGGENDORFF darauf aufmerksam, daß bei einer in seinem Besitz befindlichen Röhre der Strom von der Spitze zur Basis ging. Im Jahre 1905 hat dann HOLTZ die Sache noch einmal aufgegriffen und (*Ann. d. Phys. 4. Folg., Bd. 18, S. 1057*) mitgeteilt: „Bei einer Verdünnung, die noch keine Schichtung erzeugt, gehen die Entladungen eher durch den Trichter, dessen Grundfläche nach der Anode sieht. Bei stärkerer Verdünnung ist es umgekehrt“. Hieraus ergibt sich, daß die Gesetze für den Stromdurchgang durch Trichter gar nicht so einfach sind, wie oben angegeben wurde, sondern daß die Richtung von der Verdünnung in der Röhre abhängt.

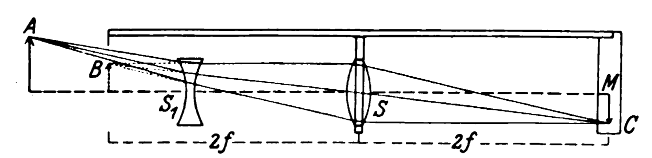


Ähnlich ist es mit dem Übergang von Spitze zu Platte. Auch hier gilt nicht allgemein die einfache Regel, daß der Strom leichter von Spitze zu Platte geht als umgekehrt, wie gewöhnlich angegeben wird. Für gewöhnliche Dichte gilt wohl die Regel, aber bei anderer Dichte kann die Richtung auch umgekehrt sein. *A. Wehnelt* (*Ann. d. Phys. Bd. 301, 1898, S. 525*) gibt an: „Bei sehr niederem Druck geht der Strom leichter von Platte zur Spitze usw.“. „Bei mittlerem Druck geht der Strom leichter von Spitze zu Platte . . .“. Solche Regeln gelten eben immer nur in gewissen Grenzen, und ich meine, man sollte das auch im Unterricht betonen, damit falsche Vorstellungen verhindert und Enttäuschungen und Fehler vermieden werden, sonst werden solche zwar bequeme, aber ungenaue Regeln durch viele Generationen mitgeschleppt.

Für die Praxis.

Vorrichtung zur Bestimmung der Größe und des Ortes virtueller Bilder. Von **Dr. Gg. Heußel** in Gießen. In der Mitte einer Stange von der Länge $4f$ (Figur) ist eine Sammellinse S von der Brennweite f (= 20—25 cm) so befestigt, daß ihre optische Achse in einigem Abstand der Stange parallel läuft. Das eine Ende der Stange trägt eine kleine Mattscheibe, auf der ihr Schnittpunkt M mit der optischen Achse bezeichnet ist.

Von einem Gegenstand, der sich am andern Ende der Stange befindet, entsteht dann auf der Mattscheibe ein gleich großes reelles umgekehrtes Bild. Erzeugt nun eine Linse S_1 (oder ein Spiegel) von einem Gegenstand A ein virtuelles Bild B, und stelle ich die beschriebene Vorrichtung so auf, daß von B wiederum ein Bild C auf der Mattscheibe entsteht, so gleicht dieses B in der Größe, und das andere Ende der Stange gibt den Ort von B an. $2f$ muß etwas größer sein als BS_1. Ist A etwa eine kleine leuchtende Glühbirne unter Wasser, so zeigt das freie Ende der Stange den Ort des Punktes B an, von dem die von A ausgehenden Strahlen herzukommen scheinen. Ebenso läßt sich zeigen, daß durch eine planparallele Platte betrachtet ein Gegenstand verschoben erscheint und sein scheinbarer Ort sich bestimmen. Die Firma L. Schmittgall & Co. in Gießen liefert den Apparat als Zusatz zur optischen Bank.



Versuch zur Wirkung des Telephons. Von **Dr. O. Nothdurft** in Danzig. Ein Primaner brachte aus den Ferien einen recht anschaulichen Versuch zum Nachweis der Induktionsströme eines Telephons mit: Hält man die Enden der Leitungsschnur auf die Zunge, so verspürt man einen sehr heftigen elektrischen Schlag, wenn jemand mit der flachen Hand kräftig auf den Schallbecher des Hörers schlägt. Dieser Nachweis wäre bei der Empfindlichkeit der Zunge für elektrische Ströme nicht besonders auffällig gewesen. Daß er aber auch bei Berührung der Lippe noch eine sehr schmerzhafte Wirkung gab, ließ mich versuchen, die Litzenenden mit angefeuchteten Handhaben zu verbinden. Auch in diesem Falle erhielt ich kräftige Wirkungen, wenn der Schlag auf den Schallbecher kurz genug war und ein Hörer von etwa 200 Ω verwandt wurde. Pfeifen in einen solchen Hörer lieferte Ströme, die auf der Zunge gut wahrnehmbar waren. Für die Unterstufe ist der Versuch, dessen Entdecker ich nicht feststellen konnte, jedenfalls recht brauchbar.



Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die Astrophysik in relativistischer Beleuchtung. Von E. Gehrcke. Die Einwände gegen die Relativitätstheorie waren bis etwa zum Jahre 1916 theoretischer Natur und richteten sich wesentlich auch gegen systematische, innere und äußere Widersprüche der Relativitätstheorie[1]). Im Laufe der Zeit hat Einstein, diesen Widersprüchen Rechnung tragend, die Theorie dauernd verändert, er nahm an den Grundlagen und an den Folgerungen so wesentliche Änderungen vor, daß die alte, ursprüngliche Relativitätstheorie nur noch schattenhaft zurückgeblieben ist. Er hat dies getan, ohne in seinen Abhandlungen den Zwang, unter dem stehend er seine Theorie ändern mußte, als solchen richtig zu kennzeichnen und objektiv aufzudecken, vielmehr hat er immer wieder etwas Neues einem staunenden Publikum vorgetragen. Er hatte dabei Gelegenheit, das wissenschaftliche Hauptübel unserer Zeit, die einseitige Spezialbildung, auszunutzen und, je nach dem Bedarf des Augenblicks, den Physikern mit philosophischen und mathematischen Gründen, den Mathematikern mit philosophischen und physikalischen Gründen, den Philosophen mit physikalischen und mathematischen Gründen ihre Zweifel zu beheben.

Neuerdings sind aber auch aus experimentellen Gründen Einwände gegen die Theorie geäußert worden. Die Relativitätstheorie konnte bisher das Fehlen einer direkten Bestätigung damit begründen, daß wegen der außerordentlichen Kleinheit der Effekte, die die Theorie erwarten ließ, keine Prüfung möglich sei, und es erschienen die experimentellen Meßverfahren zu grob und zu unvollkommen, um an die feinen Schlüsse der Theorie heranzureichen. So hatte Einstein behauptet, daß wegen des Gravitationsfeldes auf der Sonne und des dadurch angeblich erfolgenden, verzögerten zeitlichen Ablaufs aller Ereignisse auch die optischen Schwingungen des Sonnenlichts verlangsamt würden, so daß also eine Spektrallinie der Sonne eine geringe Verschiebung nach der roten Seite des Spektrums hin erleiden sollte. Diese kleine Rotverschiebung der Spektrallinien — von der Größenordnung 0,01 Ångström-Einheiten — ist zwar schwierig zu prüfen, aber die Schwierigkeit erscheint heute als überwindbar. So hat der amerikanische Spektroskopiker St. John[2]) an Stickstoffabsorptionslinien der Sonne genaue Wellenlängenbestimmungen ausgeführt; er findet in der Sonnenmitte für 43 Linien $\pm$ 0,000 Å.-E. Verschiebung, am Rand der Sonne für 45 Linien $+$ 0,0018 Å.-E., während Einsteins Theorie $+$ 0,01 Å.-E. fordert. Ferner hat Evershed[1]) ebenfalls nach der Einstein-Verschiebung gesucht, ohne sie zu finden; der höchste von ihm gemessene Wert beträgt nur die Hälfte des geforderten Betrages. Endlich ist zu erwähnen, daß bereits früher Schwarzschild[2]) eine, leider nicht mehr vollendete Untersuchung der betreffenden Stickstoffbanden auf der Sonne ausgeführt hat, ebenfalls mit negativem Ergebnis für die Relativitätstheorie. Kürzlich haben Grebe und Bachem[3]) nochmals diese Messungen wiederholt und mit den Beobachtungen der andern Forscher verglichen; sie bestätigen im wesentlichen die früheren Ergebnisse und schließen, daß es nicht statthaft sei, für alle Linien eine mittlere Verschiebung zu berechnen, da die verschiedenen Linien unter sich verschiedene Unterschiede aufweisen, die aber kleiner sind als die von Einsteins Theorie geforderte Verschiebung.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß sämtliche Beobachter unter sich insoweit einig gehen, als sie die gesuchte Rotverschiebung der Sonnenlinien nicht beobachtet haben. Diese Einigkeit der Forscher ist bemerkenswert, weil die hier nötigen Messungen dicht an der Fehlergrenze und zum Teil wohl innerhalb derselben liegen. Ferner muß auch berücksichtigt werden, daß reelle Effekte, wie besonders Doppler-Verschiebungen, auf die Messungsergebnisse von Einfluß sein können und daß deshalb die Übereinstimmung der voneinander unabhängigen Ergebnisse um so beachtenswerter ist. Was nun die Deutung der Beobachtungen anlangt, so sind hier zwei verschiedene Deutungen gegeben worden: die eine, der sich St. John und Evershed anschließen, ist kurz gesagt die, daß der Einstein-Effekt nicht existiert, da er nicht zur Beobachtung kam; die andere von Grebe und Bachem geht dahin, daß der Einstein-Effekt durch einen entgegenwirkenden, nach Violett gerichteten Verschiebungseffekt kompensiert wird; sie glauben den Grund dieser Violettverschiebung in Unsymmetrien der einzelnen Spektrallinien sehen zu sollen. Es ist aber unverständlich, wie sie aus den von ihnen angeblich beobachteten, äußerst geringen Violettverschie-

[1]) Vgl. z. B. die Zusammenstellung von E. Gehrcke, Die Naturwissenschaften, 1913, S. 62; 1919, S. 147; siehe ferner Annalen der Physik **51**, 119, 1916.

[2]) St. John, Astrophys. Journ. **46**, S. 249. Nature **100**, S. 433, 1918.

[1]) Evershed, Nature **102**, S. 153, 1918.

[2]) Schwarzschild, Berl. Ber. 1914, S. 1201.

[3]) L. Grebe und A. Bachem, Verh. Deutsch. Phys. Ges. **21**, 454, 1919.



bungen von 0,003 und 0,002 Å.-E. das Ausbleiben des etwa 4 mal größeren Einstein-Effekts bei den Linien ohne Verschiebung hinreichend erklären wollen, und ferner, wie sie das Ergebnis der besten, bisher vorliegenden Messungen, der oben erwähnten von John, deuten können.

Die zweite, experimentell prüfbare Folgerung der Relativitätstheorie betrifft die Ablenkung eines Lichtstrahls im Gravitationsfelde der Sonne: nach Einsteins Theorie soll ein bei der Sonne vorbeistreichender Lichtstrahl, z. B. das Licht eines neben der Sonne stehenden Fixsterns, von seiner geradlinigen Bahn abgelenkt werden, und zwar um den geringen Betrag von etwa 1,7 Sekunden. Auch dieser Betrag, der an der Grenze des Meßbaren liegt, sollte heute bei Anwendung von Sorgfalt und unter günstigen Umständen, bei totaler Sonnenfinsternis, der Beobachtung zugänglich sein. Nun hat es mit der Ablenkung eines Lichtstrahls, der nahe der Sonne vorbeistreicht, aber die Bewandnis, daß wegen der Atmosphäre der Sonne eine Art Fata morgana, eine Krümmung des Lichtstrahls erzeugt werden muß, auch wird diese Fata morgana von der Entfernung vom Sonnenmittelpunkt abhängig sein. Diese Verhältnisse sind für die Sonne z. B. von Pringsheim[1]) erörtert worden. Unter diesen Umständen ist es verwunderlich, wenn Einstein[2]) aus Messungsergebnissen einer zur Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis nach Brasilien geschickten, englischen Expedition, welche Ablenkungen von Fixsternorten um 0,9 bis 1,8 Sekunden in der Sonnenkorona beobachtet hat, eine Bestätigung seiner Relativitätstheorie glaubt folgern zu dürfen; man fragt sich, wie Einstein dazu kommt, die Strahlenbrechung in der Sonnenkorona zugunsten seiner aus so verschiedenartigen Gründen bedenklichen Relativitätstheorie außer acht zu lassen.

Endlich ist noch ein Irrtum Einsteins erwähnenswert, der, wie er meint, „nicht ohne ein gewisses objektives Interesse ist". Einstein glaubte[1]) unregelmäßige Schwankungen in der Länge des Mondes von einer Periode von etwa 20 Jahren nicht durch periodische Schwankungen der Mondbewegung, sondern durch die unser Zeitmaß bildende Drehbewegung der Erde erklären zu können. Es hat dann aber der Astronom von Brunn[2]) dargelegt, daß Einstein die Annahme gemacht hat, die Länge des Mondes werde praktisch mit einer Uhr, die ideale Zeit anzeigt, bestimmt, während doch die Schwankungen der Mondlängen viel zu klein sind, um durch Sternzeit nachweisbar zu sein; „die Erklärung Hrn. Einsteins wird damit hinfällig". Einstein hat hierzu eine Bemerkung veröffentlicht[3]), in der er die Kritik von Brunns als berechtigt anerkennt; es bleibt sonach nur soviel von der Sache übrig, daß, wenn die Astronomen die Mondlängen durch Uhren in Sternzeit messen würden, so wäre möglicherweise eine dann an der Mondlänge beobachtete Störung auf eine Störung der Gleichmäßigkeit der Erddrehung zurückzuführen.

[1]) E. Pringsheim, Physik der Sonne, 1910, S. 262.

[2]) Einstein, Die Naturwissenschaften, 1919, S. 776.

[1]) Einstein, Sitzungsberichte der Preuß. Akademie d. Wiss. 1919, S. 433.

[2]) von Brunn, ebenda S. 710.

[3]) Einstein, ebenda S. 711.

5. *Technik und mechanische Praxis.*

Die neueste Entwickelung der drahtlosen Telegraphie. Ausgangspunkt und Ursache der ganzen Entwickelung bildete die Erfindung der Kathodenstrahlenröhre. Prinzip und Wirkungsweise dieser im Jahre 1906 durch R. v. Lieben zum Patent angemeldeten Röhre ist bereits auf S. 27 ff. dieser Zeitschrift kurz erläutert worden. Diese Liebenröhre in ihrer ursprünglichen Form zeigte jedoch noch manche Unvollkommenheiten, insbesondere machte sich eine große Inkonstanz bei längeren Arbeiten und starke Abhängigkeit von der Außentemperatur bemerkbar, wodurch ein ständiges sehr störendes Nachregulieren des Heizstromes erforderlich wurde. Diese Unbequemlichkeiten verschwanden, als man nach dem Beispiele Langmuirs dazu überging, an Stelle der bisher benutzten Röhren mit verhältnismäßig niedrigem Vakuum solche mit dem höchst erreichbaren Vakuum herzustellen und zu verwenden. In physikalischer Beziehung unterscheiden sich diese modernen Röhren von den älteren dadurch, daß in ihnen reine Elektronenleitung stattfindet, da die Röhre fast keine Gasreste mehr enthält. Langmuir bezeichnet seine Röhre als Pliotron.

Weiterhin war das Bestreben der Technik darauf gerichtet, die Röhrendimensionen immer mehr zu verkleinern. Abgesehen von der dadurch bedingten handlicheren Form der Röhren, konnte man zu immer geringeren Betriebsspannungen, sowohl für die Heizbatterie, wie für die Anodenbatterien übergehen. Als besonders vorteilhaft ergab sich schließlich eine Form der Röhren, bei der im Innern eines kleinen Glasgefäßes ein geradlinig ausgespannter Glühdraht von einem koaxial gelegenen das Gitter bildenden Draht-

netz umgeben ist, das seinerseits von der Anode in Form eines zylindrischen Blechs umschlossen wird. Eine nach diesen Prinzipien gebaute Verstärkerröhre zeigt Figur 1. Die Volumenverkleinerung gegenüber den alten Liebenröhren erscheint sehr beträchtlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die Fig. 1 auf S. 27 eine schematische Zeichnung der Liebenröhre in etwa 1/4—1/3 natürlicher Größe darstellt.

Zuerst fanden diese Röhren als Verstärker von Telephonströmen Anwendung und führten zu einer beträchtlichen Vergrößerung der Reichweite telephonischer Nachrichtenübermittelung. Ihre Verwendung in der drahtlosen Telegraphie zur Verstärkung der schwachen vom Detektor gelieferten Telephonströme lag nahe. Aber bald stellte sich eine unerwartet vielseitige Verwendbarkeit dieses neuen Hilfsmittels heraus, so daß heute die Kathodenstrahlenröhren auf fast allen Teilgebieten der funkentelegraphischen Technik eine beherrschende Rolle spielen und ältere Einrichtungen überall verdrängen.

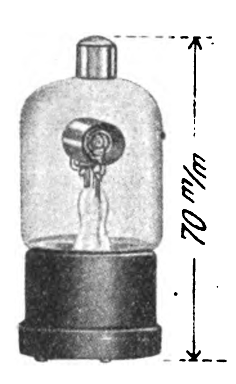


Fig. 1.

a) Niederfrequenzverstärkung. Die Wirkungsweise der Kathodenstrahlenröhren als Verstärker beruht, wie bereits auf S. 27 ff. dieses Jahrgangs der Zeitschrift gezeigt wurde, auf folgendem Prinzip. Die ankommenden Telephon- oder Detektorströme von geringer Stärke werden transformatorisch an Gitter und Kathode der Röhre gelegt und bringen infolgedessen Spannungsschwankungen am Gitter hervor, der dadurch verursachte Strom zwischen Kathode und Gitter ist sehr klein, infolgedessen ist der Energieverbrauch minimal. Die für die eigentliche Signalgebung erforderliche Energie wird einer besonderen Lokalbatterie, der Anodenbatterie entnommen. Der von dieser Batterie gelieferte Strom durchfließt die Röhre in der Form von Kathodenstrahlen; die Intensität dieses Lokalstromes wird durch die Spannungsschwankungen am Gitter beeinflusst, und zwar steuern die Spannungsschwankungen am Gitter den Lokalstrom derart, daß Stromschwankungen von genau dem gleichen Rhythmus, aber, wie sich aus der Charakteristik gemäß Fig. 4, S. 28 dieser Zeitschrift ergibt, von bedeutend verstärkter Amplitude entstehen. Die Röhre wirkt also als Relais. Man kann sich die Wirkungsweise vorteilhaft an einem mechanischen Modell veranschaulichen. In Figur 2 sei R ein Rohr von quadratischem Querschnitt, durch das eine Pumpe von unten nach oben einen Luft- oder Flüssigkeitsstrom preßt. Die Pumpe vertritt dann die Anodenbatterie, der Luft- oder Flüssigkeitsstrom den Anodenstromkreis. Die Funktion des Gitters vertritt eine im Innern des Rohrs angebrachte Scheidewand G (teilweise punktiert) mit zentraler Öffnung O_1, vor der sich ein Schieber S mit einer gleichen Öffnung O_2 bewegen kann. Durch Hin- und Herbewegen des Schieber S kann man die Strömung im Rohr R mehr oder weniger drosseln, die Strömung wird also im Rhythmus der Schieberbewegungen gesteuert, und da man sich diese Schieberbewegung theoretisch als fast reibungslos vorstellen kann, ist man im Stande mit dieser Anordnung mit Hilfe sehr kleiner Energien eine große Energie zu steuern.

Wie man aus der Charakteristik Fig. 4 auf S. 28 sieht, muß man, wenn den Spannungsschwankungen am Gitter nach oben und unten auch in beiden Richtungen gleiche Stromschwankungen entsprechen sollen, dem Gitter von vornherein eine derartige Spannung mitteilen, daß man sich im Ruhezustande im mittleren Teile der Charakteristik befindet. Diese sogenannte Vorspannung des Gitters erzeugt man durch Einschalten einer kleinen Batterie an Stelle des Gitterkondensators (Fig. 3, S. 28). Der Gitterkondensator selbst, sowie der Parallelwiderstand fallen fort.

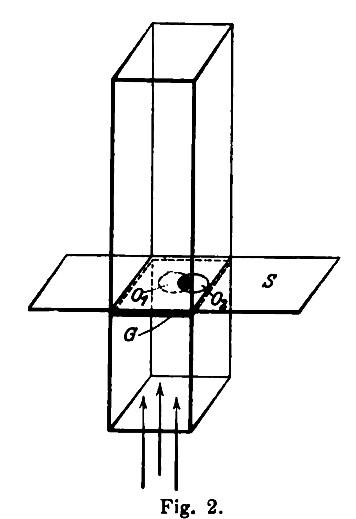


Fig. 2.

b) Hochfrequenzverstärkung. Die Überlegenheit des Kathodenstrahlenrelais gegenüber allen andern Wechselstromrelais mit schwingenden Membranen u. dgl. beruht darauf, daß die zu verstärkenden Wechselströme eben nicht auf solche schwingenden ponderablen Massen, sondern auf Elektromen einwirken, die infolge ihrer Masselosigkeit frei von Trägheit sind. Infolgedessen können diese Relais nicht nur den Wechselströmen von Tonfrequenz, sondern

auch den außerordentlich viel schneller erfolgenden Wechseln der Hochfrequenz exakt folgen. So konnte man dazu übergehen, die Verstärkerröhre nicht erst hinter dem Detektor einzuschalten, sondern die hochfrequenten Schwingungen direkt zu verstärken. Man konnte allerdings auch schon mit Hilfe der Niederfrequenzverstärkung, dadurch, daß man den Verstärkungsvorgang wiederholt anwandte, also an Stelle des Telephons T die Primärspule eines neuen Transformators in Verbindung mit einer 2. Röhre einschaltete usf. erhebliche Verstärkungen erzielen. Aber der beliebig häufigen Wiederholung dieser Verstärkung stellten sich doch Schwierigkeiten durch schließlich eintretende Verzerrung und vor allen Dingen durch die Mitverstärkung aller Störungen und Nebengeräusche entgegen, so daß man über eine viermalige Wiederholung des Verfahrens wohl nicht hinausgehen kann. Ein derartiger Vierröhren-Niederfrequenzverstärker ergibt eine 1500fache Verstärkung. Durch Anwendung kombinierter Hoch- und Niederfrequenzverstärkung ist es dann gelungen bis zu einer 10000fachen Verstärkung zu gelangen.

c) Die Kathodenstrahlenröhre als Detektor. Für die Verwendung der Kathodenstrahlenröhre als Detektor gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste besteht darin, daß man das mittlere Gitterpotential so wählt, daß man sich nicht, wie eben für den Verstärker gezeigt wurde, im Mittelpunkt der Röhrencharakteristik, sondern am unteren oder oberen Knie befindet. Im ersten Falle ist der Anodenstrom im Ruhezustande annähernd Null, das Auftreten stärkerer negativer Potentiale am Gitter ändert daran nichts, jedem positiven Spannungsimpuls am Gitter entspricht dagegen ein Stromstoß im Anodenstromkreis.

Will man am oberen Kurvenknie arbeiten, so wählt man die Hilfsspannung am Gitter positiv und so hoch, daß im Ruhezustande der Anodenstrom sein Maximum hat, dann ändern höhere positive Spannungen am Gitter nichts, negative Spannungen dagegen bewirken eine Schwächung des Anodenstroms. (Analoge Verhältnisse kann man mit dem betrachteten mechanischen Modell herbeiführen, wenn man den Schieber so einstellt, daß er in seiner Ruhelage das Loch O_1 entweder vollständig schließt oder ganz frei gibt. Man erkennt, daß im ersten Falle bei jeder periodischen Schieberbewegung ein Anwachsen, im zweiten Fall eine Schwächung des Luftstromes eintritt, analog der Verstärkung bzw. Schwächung des Anodenstroms in der Kathodenröhre). Röhren in dieser Schaltung bezeichnet man neuerdings als Richtverstärker.

Die andere gebräuchliche Schaltung einer Kathodenröhre als Detektor (Audionschaltung) zeigt die Fig. 3, S. 28 dieses Jahrg. d. Zeitschr.

Die Wirkungsweise sämtlicher Verstärker und Detektorschaltungen kann wesentlich verbessert werden, wenn man sich dabei eines Kunstgriffes bedient, der darin besteht, daß man einen Teil der Anodenstromenergie auf das Gitter zurückwirken läßt, indem man den Anodenstrom mit dem Gitterkreis durch eine sogenannte Rückkoppelungsspule (vgl. Fig. 3, S. 28) koppelt. Die verstärkten Schwingungen des Anodenkreises addieren sich dann in ihrer Wirkung teilweise zu denen des Gitterkreises und die Folge der so verstärkten Spannungsschwankungen am Gitter ist das Auftreten erheblich stärkerer Schwankungen des Anodenstromes. Durch Verwendung dieser Rückkoppelungsschaltungen läßt sich der Empfangskreis praktisch fast dämpfungslos gestalten, wodurch eine ganz wesentlich günstigere Ausnutzung der Sendeenergie im Empfangskreise herbeigeführt wird, als das mit anderen Empfangseinrichtungen möglich ist.

Nimmt man die Rückkoppelung zu eng, so tritt Selbsterregung ein, die günstigste Koppelung für den Empfang liegt unmittelbar unter dieser „kritischen Koppelung".

d) Die Kathodenstrahlenröhre als Schwingungserzeuger. Wählt man dagegen

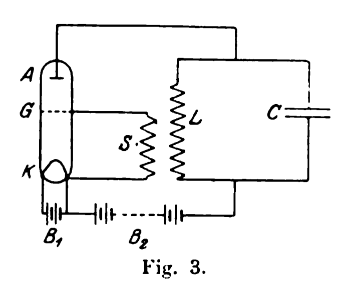


Fig. 3.

die Koppelung so eng, daß Selbsterregung der Röhren eintritt, so gelangt man zu einer ganz neuen Verwendungsart der Röhre, dem Röhrengenerator. Eine für diesen Zweck gebräuchliche Schaltung zeigt Fig. 3. Im Anodenkreis der Röhre liegt ein in sich geschlossener Schwingungskreis bestehend aus Kapazität C und Selbstinduktion L, diese Selbstinduktion ist mit der Gitterspule S gekoppelt (Rückkoppelung). Wird nun der geschlossene Schwingungskreis irgendwie angestoßen, was z. B. schon durch das einfache Schließen des Anodenstromkreises geschieht, so gerät er in freie Schwingungen, die, falls der Schwingungskreis sich selbst überlassen wäre, nach kurzer Zeit infolge der Eigendämpfung des Kreises zur Ruhe kommen würden. Infolge der Rückkoppelung beeinflussen diese Schwingungen jedoch den Gitterkreis und rufen dadurch verstärkte Schwankungen des Anodenstromes hervor, die ihrerseits zu neuen verstärkten Schwingungen im Schwingungskreise Anlaß geben. Diese be-

einflussen wieder das Gitter usw. Nach kurzer Zeit bildet sich eine Art Gleichgewichtszustand aus und im Schwingungskreise entstehen kontinuierliche, ungedämpfte Schwingungen, und zwar von einer Konstanz hinsichtlich Amplitude und Schwingungszahl, wie sie mit anderen Hilfsmitteln nicht zu erzielen ist. (Auch die Arbeitsweise der Kathodenstrahlenröhre als Generator läßt sich an der Hand des mechanischen Modells veranschaulichen. Die oberhalb des Ventils im Rohr befindliche Luftsäule besitzt eine bestimmte Eigenschwingung. Bei einem plötzlichen Öffnen oder Schließen des Ventils wird diese angeregt und klingt schnell ab. Nun stelle man sich eine Vorrichtung vor, wodurch diese Schwingungsenergie teilweise dazu benutzt wird, das Schieberventil im Rhythmus der Eigenschwingung zu bewegen. Erfolgt diese Bewegung in richtiger Phase, so wirkt das Rohr als Pfeife, und zwar ähnlich wie eine Zungenpfeife). Auch bei dem Röhrengenerator zwischen Anoden- und Gitterspannung eine solche Phasenbeziehung bestehen, daß die durch die Gitterwirkung neu gelieferte Energie sich zu der schon im Schwingungskreis vorhandenen addiert. Das ist der Fall, wenn die Wechselspannung zwischen Gitter und Kathode um 180° gegen diejenige zwischen Anode und Kathode verschoben ist. Darauf muß bei der Schaltung Rücksicht genommen werden.

e) Überlagerungsempfang. Von dieser Art der Schwingungserzeugung mit Röhrengeneratoren macht man nun Gebrauch beim Empfang ungedämpfter Wellen, die ja mit dem Röhrendetektor ebensowenig wie mit den anderen gebräulichlichen Detektoren aufnehmbar sind. Man erzeugt auf der Empfangsstation ungedämpfte Schwingungen, deren Schwingungszahl ein wenig von derjenigen der zu empfangenden Sendewelle verschieden ist. Diese Schwingungen werden auf die Empfangsantenne übertragen und gelangen mit den dort durch die Sendewelle erregten Empfangsschwingungen zur Interferenz, infolgedessen entstehen Schwebungen. Man wählt nun die Differenz zwischen Sendewelle und überlagerter Zusatzwelle so, daß die entstehenden Schwebungen die Frequenz musikalischer Töne haben, die man dann mit Hilfe von Detektor und Telephon ohne weiteres abhören kann.

Man kann dabei die Schaltung so einrichten, daß die gleiche Kathoderöhre sowohl als Generator für die Überlegungsschwingungen wie als Detektor dient und, da bei entsprechender Schaltung ein Röhrendetektor auch gleichzeitig als Verstärker wirkt, übt die Kathodenröhre in diesem Falle drei Funktionen gleichzeitig aus.

Dieser sogenannte Überlagerungs- oder Heterodynempfang, der in der jetzt erreichten Vollkommenheit erst durch die große Konstanz der Röhrengeneratoren ermöglicht wurde [1]), ist dem Ticker- oder Schleiferempfang in mehrfacher Beziehung bedeutend überlegen. Abgesehen von dem bedeutend höheren Wirkungsgrad, erhält man durch den Heterodynempfang einen reinen musikalischen Ton, dessen Höhe der Telegraphist am Empfangsapparat beliebig einstellen kann, um dadurch einen für sein Ohr besonders geeigneten Ton auszuwählen. Ein solcher musikalischer Ton ist im Gegensatz zu dem kratzenden Tickergeräusch ohne weiteres von atmosphärischen Störungen zu unterscheiden. Schließlich gibt diese Empfangsmethode eine ganz neue Möglichkeit an die Hand fremde Störer vom Empfang auszuschließen. Selbst, wenn die Welle des störenden Senders der zu empfangenden Welle benachbart ist und ihre Schwingungen daher die Empfangsantenne erregen, läßt sich in sehr vielen Fällen eine Überlagerungswelle finden, die zwar durch Interferenz mit der zu empfangenden Welle einen gut hörbaren Ton ergibt, mit der Störwelle dagegen nicht. Bei weniger günstigen Fällen sind die beiden sich dann ergebenden Interferenztöne derart voneinander verschieden, daß ein geübtes Ohr die verschiedenen Zeichen auseinander halten kann.

f) Der Röhrensender. Eine Schwierigkeit bringt der Überlagerungsempfang insofern mit sich, daß er eine sehr große Konstanz der Senderwellenlänge erfordert. Geringe Schwankungen dieser Frequenz ergeben schon starke Änderungen der Interferenztonhöhe und bringen bei größerer Abweichung den Ton ganz zum Verschwinden. Diese Schwierigkeit wird aber vollkommen überwunden, wenn man auch zum Senden Kathodenröhren in der Schaltung nach Fig. 3 benützt, sich also eines Röhrensenders bedient, der eine bisher unerreichte Konstanz der Frequenz verbürgt.

Wesentliche Verschiedenheiten zwischen den Empfangs- und Senderöhren bestehen natürlich hinsichtlich der in Betracht kommenden Energien. Genügten bei den Empfangsröhren schließlich Batterien von 4 Volt Spannung für die Heizbatterien und solche von 35 Volt Spannung für die Anodenbatterien, so sind bei den Senderöhren schon infolge der größeren Dimensionen stärkere Heizbatterien erforderlich, während man für den Anodenstromkreis zur Erzielung großer Sendeenergien bis zu Spannungen von über 3000 Volt gegangen ist.

Die Verwendung von Akkumulatorenbatterien für derartige hohe Spannungen würde natür-

[1]) Über ältere Methoden der Heterodynempfangs und die Entwickelung des Verfahrens: Jahrb. d. drahtl. Telegraphie. 1917. Bd. 11. S. 480—511.



lich große Schwierigkeiten haben, und man ist daher für Röhren von einer Leistung von 75 Watt aufwärts dazu übergegangen, an Stelle des durch Batterien erzeugten Gleichstroms transformierten und dann gleichgerichteten Wechselstrom zu benutzen, für welchen Zweck besondere Hochspannungsgleichrichter konstruiert worden sind.

Die Schwingungsleistung, die mit einer Senderöhre erzeugt werden kann, ist allerdings verhältnismäßig klein gegenüber den Leistungen anderer Hochfrequenzgeneratoren, insbesondere der Hochfrequenzmaschinen. Eine Röhre der größten bis jetzt gebräuchlichen Type ist imstande etwa 1,5 Kilowatt Schwingungsenergie zu liefern. Die außerordentliche Konstanz der Röhren hat es jedoch ermöglicht mehrere Röhren in Parallelschaltung zu benutzen, auf welche Weise man zu Sendeenergien von 10 Kilowatt und darüber gelangt.

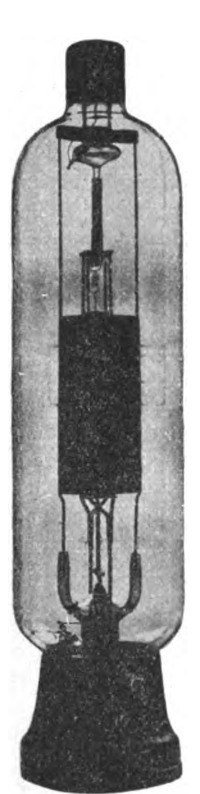


Fig. 4.

Fig. 4 zeigt eine Senderöhre der Ges. f. drahtl. Telegraphie für 500 Watt Schwingungsleistung. Die größte bisher von dieser Gesellschaft hergestellte, aber praktisch noch nicht benutzte Röhre erzielt 5 Kilowatt Schwingungsleistung.

Von den Vorzügen, die der Röhrensender gegenüber den sonst gebräuchlichen Sendern besitzt, wurde bereits die sonst unerreichbare Konstanz der Schwingungen hinsichtlich Frequenz und Amplitude erwähnt. Diese Konstanz der Wellenlänge hat zur Folge, daß man bei gegebener Antenne zur Überbrückung einer bestimmten Entfernung, eine bedeutend geringere Primärenergie aufzuwenden braucht als mit irgend einem anderen Sender, da man mit viel schärferer Abstimmung und dämpfungslosen und daher sehr abstimmungsempfindlichen Empfängern arbeiten kann. Als Beispiel sei nur angeführt, daß man mit einer kleinen Sendestation mit 50 m hoher Antenne, bei Aufwand einer Schwingungsleistung von 10 Watt eine Reichweite von 500 km erzielt. Ein weiterer Vorzug der Röhrensender besteht darin, daß man mit ein und demselben Sender einen nach oben sowohl, wie nach unten fast unbegrenzten Wellenbereich auszusenden vermag, und zwar für fast alle Wellenlängen mit annähernd dem gleichen guten Wirkungsgrad. Die Einstellung auf verschiedene Wellen ist sehr einfach, da prinzipiell weiter nichts erforderlich ist, als den in Fig. 3 dargestellten geschlossenen Schwingungskreis durch geeignete Wahl von Kapazität C und Selbstinduktion L auf die gewünschte Frequenz einzustellen.

Nimmt man zu dem, was die Kathodenröhre als Sender leistet, das hinzu, was oben bereits über ihre Verwendung beim Empfang gesagt wurde, die enorme Vergrößerung der Reichweite infolge Anwendung der Hoch- und Niederfrequenzverstärkung, die überlegene Wirkung als Detektor und schließlich den Überlagerungsempfang in Verbindung mit dem Röhrensender und die dadurch gewonnene Möglichkeit eines störungsfreien Verkehrs vieler dichtgesäter und gleichzeitig arbeitender Stationen selbst auf unmittelbar benachbarten Wellenlängen, so gewinnt man ein Bild davon, was die Kathodenstrahlenröhre besonders in ihrer Anwendung auf ungedämpfte Schwingungen für die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie bedeutet.

Doch dieses Bild ist, ganz abgesehen davon, daß diese Entwicklung hier nur in groben Umrissen gezeichnet werden konnte, durchaus noch nicht vollständig.

g) Besonders interessante und überraschende Ergebnisse hat die Anwendung dieser Röhren in Verbindung mit den sogenannten Rahmenantennen gezeitigt. Der Gedanke, an Stelle der langgestreckten offenen Empfangsantennen geschlossenen Flachspulen zu benutzen ist nicht neu, hatte aber bei früheren Versuchen, selbst bei Verwendung von Spulen größten Flächeninhalts, nicht zu besonders ermutigenden Ergebnissen geführt[1]). Jetzt bei Anwendung von Hoch- und Niederfrequenzverstärkung genügen Spulen von 1 qm Fläche, die noch dazu in geschlossenen Räumen untergebracht sein können, um z. B. in Berlin die Telegramme fast sämtlicher europäischer Großstationen wie: Gibraltar, Moskau, Petersburg usw., vollkommen sicher aufzunehmen. Eine solche Spule besteht aus einem einfachen, viereckigen, leichten Holzrahmen von 1 m Seitenlänge, auf dem einige wenige Drahtwindungen gewickelt sind, die zusammen mit einem veränderlichen Kondensator einen abstimmbaren Schwingungskreis bilden. Eine Spule von etwa 10 qm Fläche genügt, um in Berlin die Telegramme der amerikanischen Großstation Sayville aufzunehmen. Auch diese Spule findet noch an der Wand eines normal großen Zimmers Platz.

[1]) Näheres darüber bei F. Braun, Jahrb. d. drahtl. Telegraphie. 1914. Bd. 8. S. 1—34.



Da sich solche Antennen gegenseitig nicht stören, kann man eine große Anzahl in demselben Raume unterbringen und so die Telegramme der verschiedensten Sendestationen in einer gemeinsamen Zentrale aufnehmen. Falls sich die an diese Rahmenantennen geknüpften Erwartungen erfüllen, leuchtet die große Bedeutung, die diese kleinen und im Vergleich zu den großen Empfangsantennen, außerordentlich billigen Empfangsstationen, besonders für den Nachrichtendienst der Presse gewinnen können, wohl ohne weiteres ein.

Dabei haben diese geschlossenen Rahmenantennen den offenen Antennen gegenüber noch mancherlei Vorteile. Infolge ihrer Bauart und Aufstellung sind sie in weit höherem Maße als diese gegen atmosphärische Störungen geschützt. Ein weiterer Vorzug ist in ihrer Richtwirkung begründet. Der Betrag der aufgenommenen Energie ist nämlich abhängig von der Stellung der Rahmenebene. Maximale Energieaufnahme ist dann vorhanden, wenn die Rahmenebene in der Richtung zur sendenden Station liegt, während bei einer dazu senkrechten Stellung die Energieaufnahme Null wird. Das gibt zunächst eine neue Möglichkeit der Störbefreiung, indem man beim Eintreffen störender Wellen die Rahmenantenne solange verdreht, bis diese Störwellen nicht mehr aufgenommen werden.

Ferner ist man in der Lage mit einer solchen drehbaren und mit einem Teilkreise versehenen Rahmenantenne die Richtung festzustellen in der eine unbekannte gebende Station liegt. Nimmt man derartige Richtungsmessungen (Peilungen) mit Hilfe zweier, an verschiedenen Punkten aufgestellten „Richtantennen" vor, so erhält man als Schnittpunkt der durch die Peilungen ermittelten Richtungen die genaue Lage des unbekannten Senders. Von dieser Methode ist (z. T. auch mit nach anderen Gesichtspunkten gebauten Richtantennen[1])) im Kriege vielfach Gebrauch gemacht worden, um Lage und Bewegung feindlicher Stationen festzustellen, woraus dann weitere Schlüsse über Truppenverschiebungen usw. gewonnen werden konnten.

Mit Richtempfängern ausgestattete Küstenstationen sind in der Lage, jederzeit den augenblicklichen Standort und den Kurs eigener oder feindlicher auf See befindlicher Schiffe, die ja stets drahtlosen Verkehr unterhalten, festzustellen. Umgekehrt kann man durch ein solches Peilverfahren die unbekannte Lage einer Richtempfangsstation feststellen, wenn zwei ortsfeste Sendestationen, deren Lage natürlich bekannt sein muß, angepeilt werden, eine Methode, die für den Luft- und Seeschiffverkehr von großem Nutzen sein kann und es zum Teil im Kriege zur Orientierung von Luftschiffen bereits gewesen ist.

h) Sonstige Fortschritte. Die Industrie war in den letzten Jahren natürlich durch die Arbeit an den besonders für Heereszwecke bestimmten Spezialstationen und Apparaten in Anspruch genommen. Eine unübersehbare Fülle neuer Typen ist entstanden, von den kleinsten Schützengrabenstationen, die sich im Tornister unterbringen lassen, aufwärts bis zu den großen Land- und Schiffsstationen, fahrbaren Stationen für Pferdegespanne und Automobile, Stationen für Tragtierkolonnen, für Luftschiffe und Flugmaschinen, für U-Boote und Schiffe aller Art. Diese Stationen sind fast durchweg nach dem System der tönenden Funken gebaut, erst sehr spät ging man dazu über für diese Zwecke Röhrensender zu benützen.

Vervollkommnet wurden die Hochfrequenzmaschinen, die ja nach wie vor für die höchsten Sendeenergien die Hauptrolle spielen. Mit beiden Hauptsystemen, den Goldschmidt-Maschinen (Eilese) sowohl wie mit den nach dem Prinzip der statischen Frequenzverdoppelung arbeitenden Maschinen (Nauen) ist ein durchaus sicherer Betrieb erreicht. Dabei ist man bis 800 Kw Sendeenergie gelangt.

Während noch im Jahre 1908 die größte Reichweite unserer Großstationen kaum 4000 km betrug, ist man jetzt mit den modernsten Großstationen, unter Verwendung von Hochfrequenzmaschinen bis zu einer Reichweite von 20000 km gelangt. Das ist die Länge des halben Erdumfangs, so daß man nunmehr imstande ist, alle irdischen Entfernungen drahtlos zu überbrücken. Ferner ist man dazu übergegangen, im drahtlosen Verkehr auch den Duplexbetrieb einzuführen, d. h. gleichzeitiges Senden und Empfangen einer Station. Dazu sind zwei Antennen erforderlich, die in einem Abstande von 30—100 km aufgestellt werden, dabei werden noch besondere Maßnahmen getroffen, um die Einwirkung des eigenen Senders auf die Empfangsantenne aufzuheben.

Eine bessere Ausnutzung der Stationen suchte man ferner dadurch zu erreichen, daß man statt des Sendens von Hand und mit der Taste Maschinensenden mit Hilfe gelochter Papierstreifen einführte. Die Telegraphiergeschwindigkeit ist dann viel zu hoch, um die Zeichen noch direkt abhören zu können. Der Empfang erfolgt daher mit Hilfe eines Parlographen. Durch entsprechend langsames Abrollenlassen der mit den Tele-

[1]) Näheres über Richtempfangsstationen anderer Bauart findet sich u. a. im Jahrb. d. drahtl. Telegraphie. 1908. Bd. 1. S. 589—608, 1909. Bd. 2. S. 381—396, S. 511—525 u. S. 608—624 u. 1917. Bd. 11. S. 281—288.

graphenzeichen versehenen Walze können die Zeichen nachher in Ruhe entziffert werden.

Bezüglich näherer Angaben über die gesamte Entwicklung der drahtlosen Technik muß insbesondere auf die letzten Jahrgänge des Jahrbuchs für drahtlose Telegraphie verwiesen werden. Besonders bringen die jetzt erscheinenden Hefte zusammenfassende Darstellungen über die Fortschritte auf verschiedenen Gebieten. Ebenso findet man dort in zahlreichen Aufsätzen näheres über die Theorie und Technik der Kathodenstrahlenröhre und schließlich vortreffliche zusammenfassende Übersichten über die sehr umfangreiche und viel Material enthaltende in- und ausländische Patentliteratur.

Dr. Gehne, Berlin-Steglitz.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Einführung in die Mechanik deformierbarer Körper, zum Gebrauch bei Vorträgen, sowie zum Selbstunterricht, von Dr. Max Planck, Professor der theoretischen Physik an der Universität Berlin. Mit 12 Figuren. Leipzig, S. Hirzel, 1919. M. 9,50, geb. M. 11,50.

M. Planck läßt jetzt seine Vorlesungen über theoretische Physik im Buchhandel erscheinen. Der vorliegende Band ist der zweite und bildet die Fortsetzung des ersten Bandes, der „Einführung in die allgemeine Mechanik“ benannt ist. Gedanken, die dort ausführlich behandelt sind, werden hier nicht noch einmal erörtert, und auch auf die Gleichungen des ersten Bandes wird Bezug genommen. Unter Deformationen der Körper versteht M. Planck nicht nur die elastischen Vorgänge, sondern auch Strömung und Wirbelbewegung in Flüssigkeiten. Sein Hauptbestreben ist, in dem Buch zu zeigen, daß die Lehre von diesen Vorgängen eine durch innere Notwendigkeit bedingte Fortentwickelung der allgemeinen Mechanik ist. Diese Zielsetzung schließt in sich, daß es sich in dem Werke um die Aufstellung und Besprechung der allgemeinsten Gleichungen handelt. Es ist eine künstlerische Freude, die genaue mathematische Fassung physikalischer Begriffe und die scharfe Unterscheidung der verschiedenen Differentiationszeichen in dem Buche zu sehen. Auch die Auslegung der Gleichungen nach ihrem wirklichen Inhalt, worauf der Verfasser besonderen Wert gelegt hat, ist meisterhaft. Und doch dürfte das Buch schwer zu lesen sein für einen, der nicht nach anderen Büchern den Stoff bereits kennt. Das liegt erstens daran, daß neben dem Wege von der allgemeinsten Gleichung zum besonderen Einzelfall nicht auch der Weg von unten herauf eingeschlagen ist. Zweitens sind auch die behandelten Einzelfälle vielfach so stark von der Wirklichkeit entfernt — Stäbe und Saiten z. B. sind und bleiben „eindimensionale Körper“ —, daß man den Boden der Wirklichkeit zu verlieren Gefahr läuft. Dies gilt besonders von den Gebieten, wie z. B. den Flüssigkeitsbewegungen, die in den üblichen experimentellen Lehrbüchern stiefmütterlich behandelt zu werden pflegen. Drittens ist auch hier, wie im ersten Bande, der Übergang aus der Rechnung in die Wirklichkeit durch die rein mathematische Erklärung einiger Begriffe erschwert. Ein einfaches Beispiel (S. 26): „Für irgend ein Stück σ der Oberfläche des Körpers nennen wir den Quotienten der resultierenden darauf wirkenden Flächenkraft, dividiert durch den Flächeninhalt von σ, den „mittleren Druck“ auf σ“. M. E. müßte in einem Theoriebuche ein scharfer Unterschied gemacht werden zwischen dem, was man unter Druck versteht, und dem, wie man einen Druck mißt. Unter einem Quotienten zweier benannter Zahlen kann man sich nichts Physikalisches vorstellen. Aber solche Bedenken fallen weg, wenn man die Bestimmung des Buches „zum Gebrauch bei Vorträgen und zum Selbstunterricht“ nicht auf Studierende anwendet, die von derlei Dingen zum erstenmal hören, und danach die Grundbegriffe lernen sollen. Das Buch steht über solchen Kleinigkeiten. In ihm ist das durch Forschen und Unterricht abgeklärte Wissen einer Geistesgröße enthalten. Es gebietet Hochachtung und bereitet Genuß, weil es in Ehrfurcht vor der Schönheit der geschichtlich gewordenen klassischen Theorie geschrieben ist.

Curt Fischer.

Handbuch für den physikalischen Unterricht. Von Dr. Friedrich Dannemann, Direktor der Realschule in Barmen. A. Allgemeines. (Die neue deutsche Schule, herausgegeben von H. Nickel und M. Reiniger, VII. Bd., 1. Teil.) 144 S. Langensalza, Julius Beltz, 1919.

Dies Handbuch ist in erster Reihe für den Unterricht an Volks-, Mittel- und Realschulen bestimmt, daneben auch für die Unterstufe höherer Lehranstalten. Es bietet nach einer kurzen Darstellung der Geschichte des physikalischen Unterrichts und allgemeinen Betrachtungen über Ziel und Lehrverfahren besonders eingehende Auseinandersetzungen über den heuristischen auf Schülerübungen gegründeten Unterricht. Der Verfasser spricht sich in ganz modernem Sinn für die Verwebung der Übungen mit dem Klassenunterricht und für die Einführung der Übungen auch in die Volksschule aus,



wie es in München und in Hamburg bereits verwirklicht ist. Er gibt auch praktische Winke für billige Einrichtung von Unterrichtsräumen; überflüssig dürfte es jedoch sein, den Tisch mit besonderen Schienen für die Abnahme des elektrischen Stromes zu versehen. Ein Normalverzeichnis von Apparaten, die für den elementaren Unterricht erforderlich sind, wird vielen Lehrern willkommen sein, ebenso auch Ratschläge für die Beschaffung der einfachsten Hilfsmittel für die Schülerübungen. In dem Abschnitt über die Lehrbuchfrage wird mein Ausspruch angefochten, daß das Lehrbuch nicht dazu da sei, damit danach unterrichtet werde, doch läßt der Verfasser selbst erkennen, daß er den Ausspruch richtig verstanden hat und in diesem Sinne billigt. Über das Geschichtliche im physikalischen Unterricht wurden, wie vom Verfasser nicht anders zu erwarten, ausführliche und befolgenswerte Vorschläge gemacht; unter den kurzen Bemerkungen über den Unterricht in Einzelgebieten ist bei der Mechanik der Irrtum untergelaufen, daß beim Abschießen einer Masse aus der Federpistole die Geschwindigkeit der Masse umgekehrt proportional sei. Die Lehre von der Reibungselektrizität, die manche ganz beiseite gesetzt zu sehen wünschen, wird wegen ihres hohen didektischen Werts in Schutz genommen. So tritt uns überhaupt in dem Buche ein gesunder, praktischer und das Ziel des Unterrichts fein abwägender Sinn entgegen, der es zum Ratgeber für den Lehrer recht geeignet macht.

P.

Lehrbuch der Chemie und Mineralogie für den Unterricht an höheren Lehranstalten von Dr. A. Lipp, Prof. an der Techn. Hochschule in München. I. Teil. Siebente, umgearbeitete Auflage von Dr. J. Reitinger, Reallehrer. Stuttgart und Berlin, Fr. Grub, 1918. VIII u. 160 S. Geb. M. 2,40 + 20% Teuerungszuschlag.

Nach dem Tode des ursprünglichen Verfassers hat einer seiner früheren Schüler diese Neuauflage besorgt. Dabei ist die Eigenart des Buches — vgl. hierüber *diese Zeitschr. XIV, 372, XVIII, 313 und XXII, 401* — im wesentlichen unverändert geblieben. Umgearbeitet wurde vor allem — und zwar unter Berücksichtigung der neuen Lehrpläne Bayerns — die Einleitung; es geschah dies in der Absicht, „Vorwegnahmen möglichst zu vermeiden und die chemischen Grundgesetze erst nach Betrachtung einer größeren Anzahl von Stoffen und Vorgängen abzuleiten". Diese Absicht ist zu loben. Jedoch ist sie nicht voll erreicht worden, denn gerade die ersten Versuche, bei denen gebrannter und gelöschter Kalk das Ausgangsmaterial bilden, machen mehrere Vorwegnahmen — Kohlensäuregas in der Ausatmungsluft, Bezeichnung der Abscheidung als kohlensaurer Kalk usw. — notwendig. Ähnlich ist es bei der unmittelbar folgenden Besprechung der Oxydationsvorgänge, wo die Verbrennung einer Kerze, des Petroleums, des Leuchtgases usw. früher als die wesentlich einfachere Verkalkung der Metalle behandelt wird. Auf geschichtliche Angaben ist weniger Wert, als sonst üblich, gelegt; diejenige über den Ursprung der Alchemie, sie sei aus der Aristotelischen Lehre von den vier Elementen entstanden, ist überdies nur teilweise richtig. Daß der Verf. statt Molekül die richtig gebildete Wortform „Molekel" benützt, ist erfreulich; es heißt aber nicht „das", sondern „die" Molekel. Diese Ausstellungen hindern nicht, anzuerkennen, daß das in Bayern vielfach gebrauchte Buch durch die Neubearbeitung noch an Wert gewonnen hat.

J. Schiff.

Die Funkentelegraphie in allgemeinverständlicher Darstellung. Von C. W. Kollatz. 107 S. Mit 33 Abbildungen im Text und auf Tafeln. Berlin, Georg Siemens, 1919. M. 4,25 und 30%.

Die Schrift gibt ein ansprechendes Bild der Entwickelung der Funkentelegraphie und behandelt im einzelnen namentlich die Einrichtung einer Funkstelle mit Braunschem Sender, die tönenden Löschfunken und die mannigfachen Verwertungen der Kathodenröhre. Interessante Mitteilungen über die äußeren Einrichtungen der Stationen und die Leistungen der Funkentelegraphie sind eingefügt.

P.

Korrespondenz.

Weitere Meldungen von Unfällen im Chemie- und Physikunterricht[1]). Wir erhielten die nachfolgenden dankenswerten Mitteilungen über Unfälle im Chemieunterricht.

1. Explosionsartiges Zerspringen eines Glasgefäßes. „Vor einiger Zeit erfolgte eine seltsame Glasexplosion, die ich mir nicht ohne weiteres erklären kann. Ich kochte, da gerade kein anderes Gefäß zur Hand war, in einem dickwandigen, breiten Becherglas (Inhalt von $^3/_4$ l) Wasser. Als es zum Sieden gelangt war, goß ich einen Teil davon aus und stellte das noch etwa zur Hälfte mit siedend heißem Wasser gefüllte Glas auf den Experimentiertisch, und zwar auf Holz. Nach ungefähr einer Minute zersprang das Becherglas plötzlich in unzählige Stückchen, die seitwärts bis zu $3^1/_2$ m Ent-

[1]) Vgl. die „Aufforderung betreffend Meldung von Unfällen" in dieser Zeitschr. **26**, S. 207, sowie die daraufhin erfolgten Mitteilungen in dieser Zeitschr. **27**, S. 138 140, **29**, S. 226/227, **30**, S. 302 303.

fernung geschleudert wurden." Die Stückchen waren ziemlich regelmäßig in ihrer Gestalt, nämlich würfelig, mit vollkommen glatten Flächen. „Merkwürdig erschien mir der Vorfall vor allem deshalb, weil die Abkühlung nur so kurze Zeit stattgefunden hatte, zudem das Becherglas noch zur Hälfte mit dem heißen Wasser gefüllt war und die Unterlage doch ein verhältnismäßig schlechter Wärmeleiter war. Die innere Struktur des Glases hat dabei wohl eine Rolle gespielt. Daß ich nicht zu Schaden kam, war nur dem Umstande zu verdanken, daß alle Splitter nach der Seite und nicht in die Höhe geschleudert wurden." *E. Hofmann*, Bad Dürkheim.

Man kann an eine schlechte Kühlung bei Herstellung des Glasgefäßes denken. Wahrscheinlich liegt aber schnelles Erhitzen, also sehr starke Wärmezufuhr vor, so daß die unterste Glasschicht unverhältnismäßig weit über den Siedepunkt des Wassers, vielleicht bis gegen 1000° erhitzt wurde, während die oberste Schicht des mehrere Millimeter dicken Glases durch das Wasser vor dem Sieden stetig auf einer Temperatur unterhalb 100° infolge der Abkühlung gehalten wurde. Durch diese großen Spannungsunterschiede im Glase wurde das explosionsartige Zerspringen vorbereitet, das dann durch die erhebliche Temperaturdifferenz des kalten Tisches und der untersten glühend heißen Glasschicht ausgelöst wurde. — Der interessante Fall — die Sprengstücke haben dem Unterzeichneten vorgelegen — mahnt zur Vorsicht und bestätigt die Regel, daß dickwandige Gefäße zum Erhitzen nicht geeignet sind. Doch können Flüssigkeiten, selbst in ganz ungleich dickwandigen Gefäßen, bis auf 100° und darüber ohne Gefahr erhitzt werden, sofern man das Erhitzen im Wasserbadgefäß vornimmt — wie Unterzeichneter bei seinen Versuchen[1]) mit Selterswasser und Bieren (welche Flüssigkeiten in ihren Original-Handelsflaschen erhitzt wurden) erfahren hat.

2. Explosion mit einem engeren Glühröhrchen. „Klasse Prima." Es wurde nach „Bilz, Quantitative Analyse" gearbeitet. Die Klasse war mit Einübung der Reaktionen der Chlorwasserstoffgruppe beschäftigt. Ein Schüler wollte den Nachweis des *Hg* im Niederschlage ausführen. Er stellte deshalb die vorgeschriebenen Reaktionen an, indem er im Glühröhrchen den Niederschlag mit Zyankali und Soda glühte. Da die Abscheidung des *Hg* ihm nicht deutlich genug in die Erscheinung trat, mengte er zu einem Vergleich ganz geringe Mengen Merkuronitrat mit Zyankalium und Natriumkarbonat. Beim Glühen im engen Glührohr trat eine sehr heftige Explosion auf mit langer Stichflamme; das Glührohr wurde zerschmettert. Leichte Verletzungen der Hand durch Glassplitter waren die Folge. — Die Ursachen suche ich in der Zersetzung des Nitrates, besonders wohl noch in der Bildung von Knallquecksilber; angestellte Versuche ergaben, daß Explosion stets eintrat, wenn ein enges Glühröhrchen genommen wurde. Weitere Feststellungen, welche Zersetzungen vor sich gingen, ob diese eventuell als Sprengmittel Verwendung finden können, entziehen sich leider zur Zeit meiner Beurteilung. — Für den Unterricht ist in diesem Fall vor der Verwendung zu enger Glühröhrchen zu warnen.

Dr. Frhr. v. Lützen,
Deutsches Landerziehungsheim Haubinda i. Th.

3. Explosion mit dem Grimsehlschen elektrolytischen Chlorentwickler. Im Chemieunterricht der O II des Doroth.-Realg. zu Berlin. Als Unterzeichneter letzthin Chlor aus Kochsalzlösung mittels des in dieser Zeitschrift (XVI, S. 162, Fig. 3) abgebildeten Apparates entwickeln wollte, — der Apparat hatte wiederholt diesem Zwecke gedient — trat inmitten der Entwickelung eine Explosion auf: das eine Glockengefäß wurde senkrecht bis zur Decke des Zimmers geschleudert, auch das Elektrolytgefäß zersprang. Verletzungen fanden nicht statt. — Die Ursache ist wohl in der Bildung von Chlorknallgas zu suchen, wenigstens war deutlich zu beobachten, daß während der Elektrolyse Wasserstoffbläschen zum Chlorgefäß hinüberwanderten. Der Apparat war aber nicht geradeswegs von der Sonne beleuchtet. Die Stromstärke war unterhalb 20 Ampere, „hierbei tritt [nach Grimsehl] noch keine schädliche Erwärmung ein". — Es wäre demnach vor zu heller Beleuchtung und vor zu großer Stromstärke zu warnen.

4. Entflammung von unmittelbar der Stahlflasche entströmendem Wasserstoff[1]). Es wurde mittels des aus Stahlflaschen ausströmenden Wasserstoffs und Sauerstoffs die lebhafte Verbrennung von Eisen gezeigt. Die Funken sprangen wie immer weit umher und gelangten wohl auch bis zur Wasserstoffstahlflasche, denn plötzlich leckte aus der unmittelbar an die Ausströmungsöffnung der Flasche angesetzten Schraubenmutter des Reduzierventils eine kleine Flamme hervor — zum Zeichen, daß diese Schraube nicht fest genug angezogen war. Anstatt das Radventil der Flasche abzudrehen, wurde versucht, mit dem Schraubenschlüssel jene Schraube ganz fest zu-

[1]) O. Ohmann, Einige Grundversuche mit Selterswasser und Kohlensäuregas. „Monatshefte" Bd. XI. 1918. S. 94/101 bzw. S. 139/142.

[1]) Nach mündlichem Bericht an den Unterzeichneten.



zudrehen. Dabei wurde aus Versehen nach der entgegengesetzten Richtung gedreht: eine große Flamme brauste aus der Flasche heraus, eine Panik hervorrufend, so daß Zuhörer und Assistent entflohen. Mit Hilfe eines herbeigeholten verstellbaren Schraubschlüssels (Engländers) wurde nunmehr das Radventil eingeklemmt und abgedreht, wobei die eine Hand des Experimentierenden Brandwunden erhielt. — Am besten war, wie erwähnt, das Radventil zuzudrehen und danach die Schraubenmutter weiter anzuziehen. Als die große Flamme entstand, rückte die Gefahr des Zerplatzens der Flasche in die Nähe.

Die Einsendung weiterer Unfallsaufzeichnungen an die Schriftleitung bzw. den Unterzeichneten ist im allgemeinen Interesse dringend erwünscht. Auf Wunsch unterbleibt sowohl Nennung des Namens wie auch der Anstalt.

Prof. Otto Ohmann,
Berlin-Pankow, Kavalierstraße 15.

Leistungsmessung eines Motors. Berichtigung von Dr. BÜCHNER zu Heft 5, S. 166. Auf Beanstandung aus dem Leserkreis muß ich richtig stellen, daß es auf die Länge, mit der der Bremszaum auf der Schnurscheibe aufliegt, nicht ankommt. Es muß also für den Weg der g a n z e Umfang der Schnurscheibe mal der Zahl der Umdrehungen pro Sekunde zugrunde gelegt werden. Die Leistung ergibt sich in den Beispielen daher doppelt so groß.

Ein Kontrollversuch zeigte auch noch, daß man mit viel kleineren Spanngewichten auskommt wenn man den Faden noch einmal um die Schnurscheibe herumlegt. In beiden Fällen sollte sich dieselbe Leistung ergeben, da der Strom beidemale 0,99 Ampere betrug.

Bei der Bremswirkung auf a) $^1/_2$ Umfang, b) $1^1/_2$ Umfang wurde gefunden:

	p_1	p_2	Kraft	Umlaufszahl	Leistung	
a)	5 kg	9,2 kg	4,2 kg	1267	12,4 mkg	pro
b)	0,72 „	4,8 „	4,08 „	1314	12,5 „	Sek.

Das dritte **Generalregister** der Zeitschrift für die Jahrgänge 21 bis 30 erscheint im Dezember d. J. Der Preis beträgt M. 10,—.

Die Bahnen der beweglichen Gestirne im Jahre 1920. Diese Sonderausgabe der astronomischen Tafel von M. KOPPE erscheint gleichzeitig mit diesem Heft und kann von der Verlagsbuchhandlung Julius Springer oder durch den Buchhandel zum Preise von M. 2,40 bezogen werden.

Himmelserscheinungen im Dezember 1919, Januar und Februar 1920.

12^h = Mittag, 0^h und 24^h = Mitternacht. (Berliner Zeit = M E Z — $0,1^h$).

MEZ 12^h	Dezember 2	7	12	17	22	27	Januar 2	7	12	17	22	27
☿ AR	$16^h 36^m$	16.11	16.1	16.8	16.26	16.50	17.24	17.55	18.28	19.1	19.35	20.12
☿ D	— 21°	— 19	— 18	— 18	— 20	— 21	— 23	— 24	— 24	— 24	— 23	— 22
♀ AR	$13^h 27^m$	13.48	14.9	14.31	14.53	15.16	15.44	16.9	16.33	16.58	17.24	17.50
♀ D	— 6°	— 9	— 10	— 12	— 14	— 15	— 17	— 19	— 20	— 21	— 21	— 22
⊙ AR	$16^h 30^m$	16.52	17.14	17.36	17.58	18.20	18.47	19.9	19.31	19.52	20.14	20.35
⊙ D	— 21,8°	— 22,5	— 23,0	— 23,3	— 23,5	— 23,4	— 23,0	— 22,5	— 21,8	— 20,9	— 19,9	— 18,7
♂ AR	$12^h 7^m$	12.17	12.27	12.36	12.46	12.55	13.7	13.15	13.24	13.33	13.41	13.48
♂ D	1°	0	— 1	— 2	— 3	— 4	— 5	— 6	— 7	— 7	— 8	— 9
♃ AR		$9^h 23^m$		9.22		9.20	9.19		9.14		9.10	
♃ D		16°		16		16	17		17		17	
♄ AR	$10^h 53^m$						10.55				10.52	
♄ D	9°						9				9	
Sternzeit[1]	$16^h 40^m 57^s$	17.0.40	17.20.22	17.40.5	17.59.48	18.19.31	18.43.10	19.2.53	19.22.36	19.42.19	20.2.1	20.21.44
Zeitgl.	$-10^m 49^s$	— 8.49	— 6.36	— 4.13	— 1.44	+ 0.45	3.40	5.57	8.3	9.53	11.27	12.42
Breite von Berlin. Ortszeit Mittelpunkt von ⊙ und ☾									Oberer Rand von ⊙ und ☾.			
⊙ Aufg	$7^h 51^m$	7.57	8.3	8.8	8.11	8.13	8.14	8.12	8.9	8.5	8.0	7.54
⊙ Untergang	$15^h 48^m$	15.45	15.44	15.44	15.45	15.49	15.54	16.0	16.7	16.15	16.23	16.33
☾ Aufg	$12^h 57^m$	16.10	22.27	3.4	7.51	10.20	13.1	18.44	—	4.57	8.3	9.55
☾ Untergang	$1^h 4^m$	7.38	11.7	0.54	16.8	21.37	4.1	8.40	10.39	13.17	18.19	—

[1]) Im Stargarder Meridian.

MEZ 12^h		Februar 1	6	11	16	21	26
☿	AR	20^h 45^m	21.20	21.55	22.30	23.3	23.33
	D	— 20°	— 18	— 15	— 11	— 7	— 3
♀	AR	18^h 16^m	18.42	19.8	19.34	20.0	20.26
	D	— 22°	— 22	— 22	— 21	— 20	— 19
☉	AR	20^h 55^m	21.15	21.35	21.55	22.14	22.33
	D	— 17,4°	— 15,9	— 14,3	— 12,7	— 10,9	— 9,1
♂	AR	13^h 55^m	14.2	14.8	14.14	14.19	14.23
	D	— 10°	— 10	— 11	— 11	— 11	— 12
♃	AR	9^h 4^m		8.[illegible]9		8.54	
	D	18°		18		18	
♄	AR			10.48			
	D			10			

MEZ 12^h	Februar 1	6	11	16	21	26
Sternzeit [1])	20^h 41^m 27^s	21.1 10	21.20 52	21.40 35	22.0 18	22.20 1
Zeitgl.	13^m 36^s	14.10	14.24	14.18	13.55	13.15

Breite von Berlin. Ortszeit. Oberer Rand von ☉ und ☾

	1	6	11	16	21	26
☉ Aufg.	7^h 46^m	7.38	7.29	7.19	7.9	6.58
☉ Untergang	16^h 42^m	16.51	17.1	17.10	17.20	17.29
☾ Aufg.	13^h 37^m	20.5	0.45	5.2	7.13	9.40
☾ Untergang	5^h 7^m	7.58	9.58	13.51	15.42	0.46

[1]) Im Stargarder Meridian.

Winters Anfang 1919 Dez. 22, 22^h.

Mondphasen MEZ

Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
		Dez. 7^d 11^h 4^m	Dez. 14^d 7^h 2^m
Dez. 22^d 11^h 55^m	Dez. 30^d 6^h 25^m	Jan. 5^d 22^h 5^m	Jan. 13^d 1^h 9^m
Jan. 21^d 6^h 27^m	Jan. 28^d 16^h 38^m	Febr. 4^d 9^h 42^m	Febr. 11^d 21^h 49^m
Febr. 19^d 22^h 35^m	Febr. 27^d 0^h 50^m		

Der **Mond** tritt zu folgenden Zeiten (MEZ) in die abgerundeten **Sternbilder** des **Tierkreises**:

Sternbild Länge	W 25°	S 55°	Z 85°	K 115°	L 145°	J 175°	Wg 205°	Sp 235°	Sz 265°	Sb 295°	Ws 325°	Fs 355°	
Nov.				(Zehntel-Tage)							29,7	. 2,0	Dez.
Dez.	4,1^d	6,2	8,1	10,1	12,2	14,5	17,0	19,5	22,1	24,6	27,0	29,4	Dez.
Dez.	31,5^d	. 2,6	4,7	6,7	8,7	10,9	13,3	15,8	18,4	20,9	23,2	25,5	Jan.
Jan.	27,8^d	29,9	. 1,0	3,0	5,1	7,4	9,6	12,1	14,7	17,2	19,5	21,8	Febr.
Febr.	24,0^d	26,1	28,3 .	1,4									März

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der Planeten. **Ortszeit.** Breite von Berlin.

Tag	☿ Morgenstern vorm.	
XII 9	6,8^h	
17	A 6,1^h	D 6,9^h
27	A 6,5^h	D 7,0^h
I 2	A 6,8^h	D 7,0^h
6	A 7,0^h	D 7,0^h
	Abendstern nachm.	
II 21	D 6,4^h	U 6,4^h
III 2	D 6,7^h	U 7,4^h

Tag	♀ Morgenstern vorm.		♂ (Jungfrau) vorm. nachm.	vorm.	♃ (Krebs) nachm.	vorm.	♄ (Löwe) vorm. nachm.	vorm.
XI 17	A 2,9^h	D 6,7^h	A 1,5 v	D 6,2	A 10,1	D 6,3	A 0,3 v	D 6,2
XII 7	A 3,5^h	D 7,2^h	A 1,2 v	D 6,6	A 8,8	D 6,8	A 11,1 n	D 6,6
27	A 4,3^h	D 7,4^h	A 0,9 v	D 6,9	A 7,4	D 7,0	A 9,8 n	D 6,9
I 2	A 4,5^h	D 7,4^h	A 0,8 v	D 6.9	A 7,0	D 7,0	A 9,2 n	D 6,9
22	A 5,4^h	D 7,2^h	A 0,3 v	D 6,7	A 5,5	D 6,8	A 8,0 n	D 6,7
II 11	A 5,8^h	D 6,8^h	A 11,7 n	D 6,3	D 6,1	D 6,4	A 6,5 n	D 6,3
III 2	A 5,8^h	D 6,1^h	A 10,8 n	D 5,6	D 6,7	D 5,7	D 6,8 n	D 5,6

A = Aufgang; U = Untergang; D = Dämmerung.

Verfinsterungen der Jupitermonde (MEZ). Nachmittag-Stunden. E = Eintritt, A = Austritt.

Dez. 15, 9^h 19,5^m A IV	Jan. 14, 8^h 45,4^m E III	Jan. 27, 6^h 33,2^m E I	Febr. 19, 8^h 19,3^m A III
„ 19, 8^h 7,9^m E I	„ 15, 7^h 35,0^m E II	Febr. 9, 7^h 30,3^m A II	„ 19, 9^h 3,3^m A I
Jan. 11, 8^h 16,9^m E I	„ 18, 7^h 10,7^m E I	„ 12, 7^h 8,7^m A I	„ 20, 9^h 30,7^m A IV

M. Koppe.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

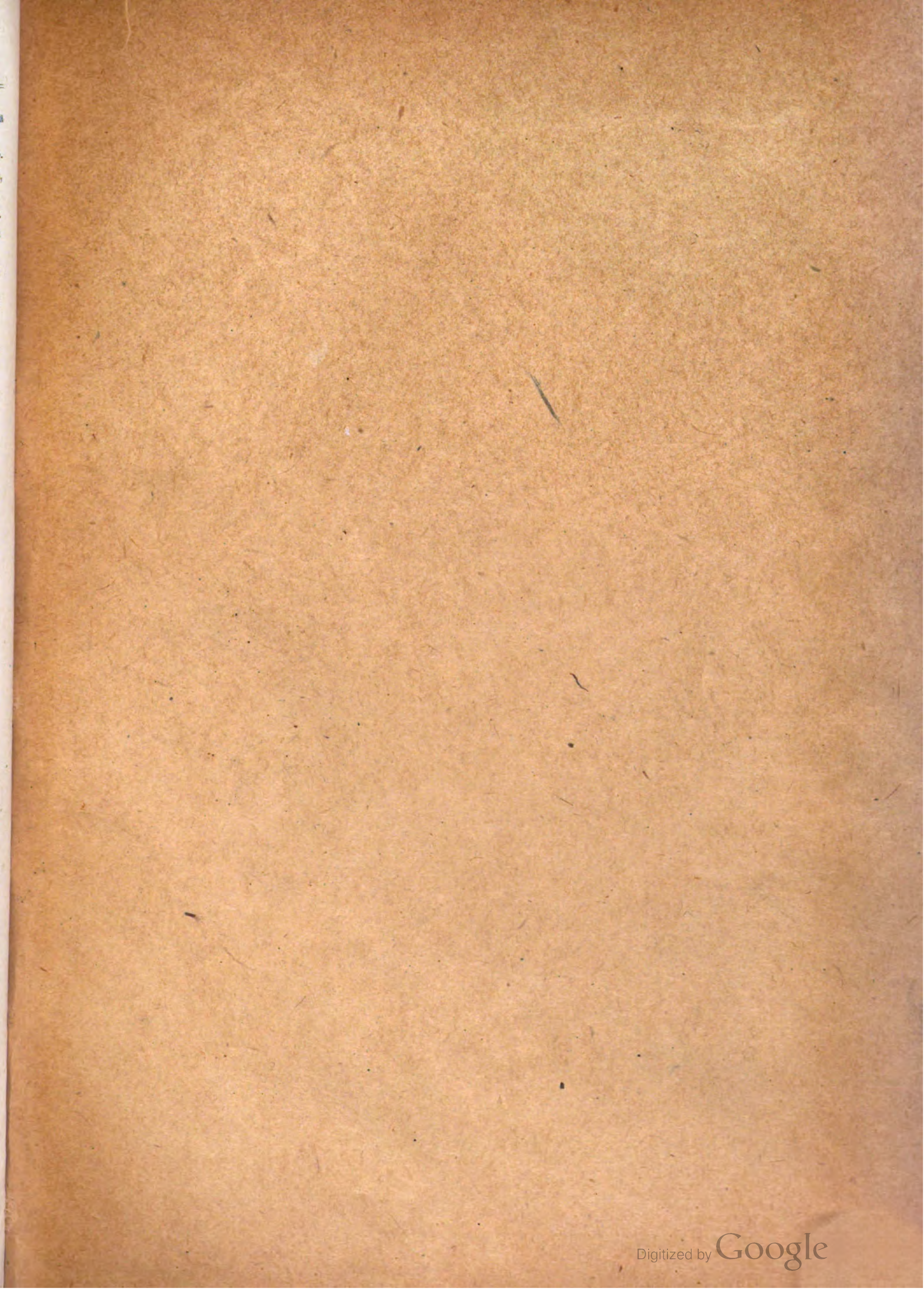


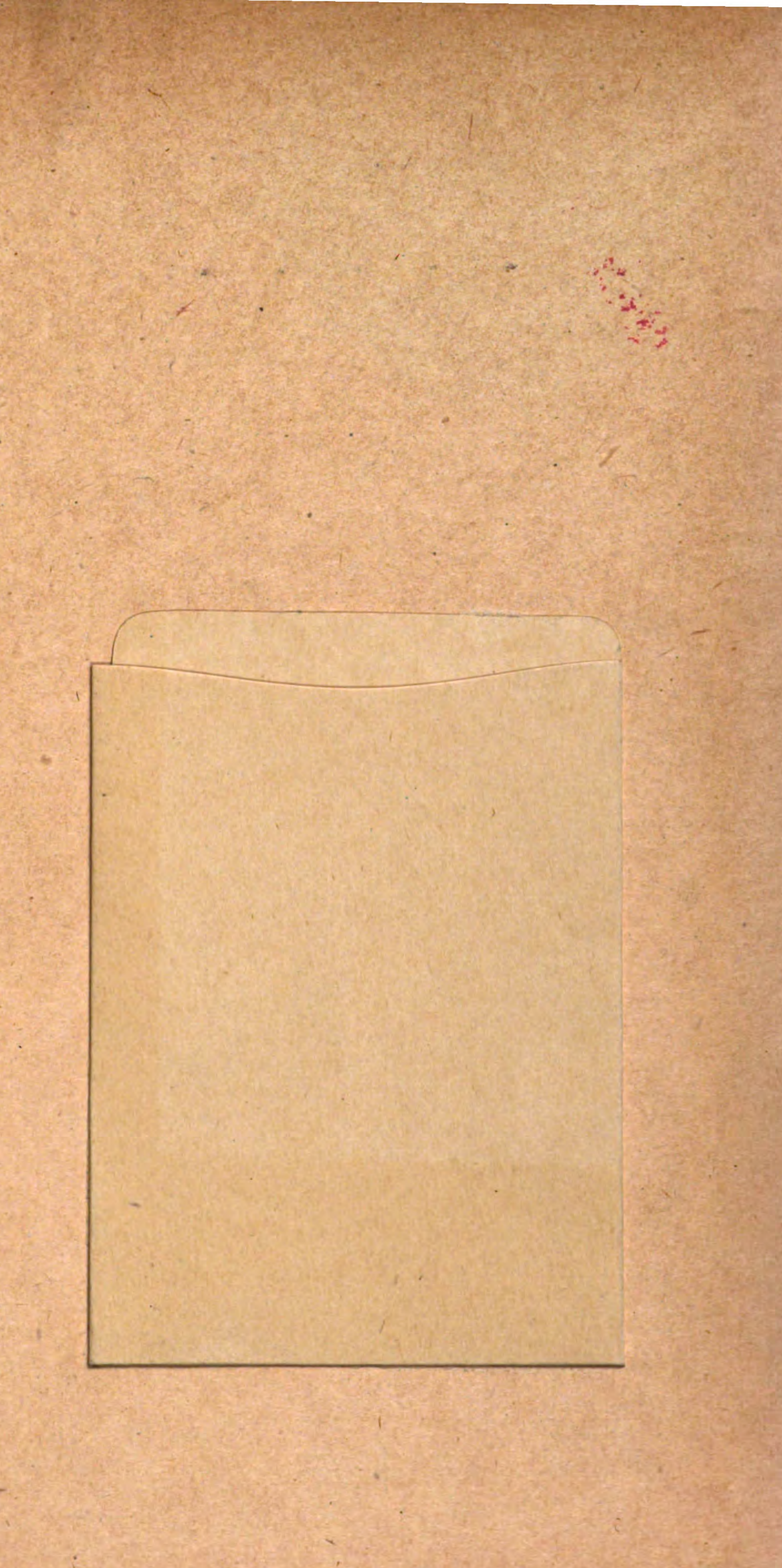
Namen-Verzeichnis.

Bei Originalarbeiten sind die Namen gesperrt gedruckt.

Sach-Verzeichnis.

Bei Originalarbeiten sind die Namen der Verfasser gesperrt gedruckt.






The Ohio State University
3 2435 05651551 3

THE OHIO STATE UNIVERSITY BOOK DEPOSITORY
D AISLE SECT SHLF SIDE POS ITEM C
8 03 35 05 7 05 009 1